JAHRGANG 70. 1920. HEFT 10 BIS 12.

Der Städtebau und die Renaissance in Italien und Deutschland.

Ein Beitrag zur Geschichte der Stadtbaukunst.

Von Dr.-Ing. Ed. Jobst Siedler, Berlin-Zehlendorf.

Inhaltsverzeichnis.

Vorwort.

Die Entwicklungsgeschichte der Baukunst jedes einzelnen Landes könnte man zeichnerisch in einer Reihe von Wellenlinien darstellen, von denen jede einzelne das Werden, Leben und Vergehen der einzelnen Baugedanken, und jeder Wellenberg einen Stilabschnitt widerspiegeln würde. Wenn in dieser Darstellung auf der Wagerechten unsere Zeitrechnung aufgetragen wäre, so würde man erkennen, daß die Stilbewegungen der einzelnen Baugedanken nicht gleichzeitig ansetzen oder gleichzeitig ihren Höhepunkt erreichen, und daß einzelne Baugedanken ein lebhaftes Auf-und-Nieder zeigen, andere in großen schwerfälligeren Wellen verlaufen. Man würde feststellen können, daß, je umfassender der Baugedanke, um so ruhiger seine Wellenlinie ist. Die Zeichnung würde auch beweisen, daß der Begriff „Stil“ nur ein bedingter Begriff ist, der nur dann zeitlich scharf umgrenzt werden kann, wenn er auf bestimmte Baugedanken bezogen wird. Wenn es z. B. durchaus möglich ist, im deutschen mittelalterlichen Kirchenbau einen karolingischen, romanischen, Übergangs- und gotischen Stilabschnitt zu erkennen, von denen jeder in der zeichnerischen Darstellung in einem Wellenberge seinen Ausdruck finden wird, so werden sich im gleichzeitigen deutschen Städtebau Wellenberge von derselben Ausdehnung nicht erkennen lassen. Der deutsche mittelalterliche Städtebau wird vielmehr nur einen einzigen Wellenberg darstellen, der zwar im Auf- und Abstieg wieder Schwingungen zeigt, aber in seiner Gesamtheit als eine Welle erscheint. Diese Welle wird ihre Höhe etwa im 14. Jahrhundert erreichen und durch ein langgestrecktes, nur ein wenig gesenktes und bewegtes Tal von einem nächsten Hauptwellenberg getrennt werden, zu der sich der landesherrliche Städtebau im Beginn des 18. Jahrhunderts, also in einer Kulturzeit aufschwingt, die man je nach ihrer Ausdrucksform bald als barock, bald als klassizistisch zu bezeichnen pflegt.

Für die geschichtliche Betrachtung werden die Krümmungsstellen der Wellenlinie, das heißt die Zeiten, in denen Richtungsänderungen in der Entwicklung zu beobachten sind, von besonderem Interesse sein. Es ist verhältnismäßig leicht, die Wellenhöhen zu erkennen; es ist aber schwer, die Wellentäler zu übersehen. Aber gerade das ist wichtig, wenn die Betrachtung der Entwicklungsgeschichte der Baukunst dem neuzeitlichen Bauschaffen förderlich sein soll. Denn was wir aus der Betrachtung der Geschichte der Baukunst für unser Bauschaffen gewinnen wollen und können, ist doch nicht die Beherrschung einer bestimmten Form, die wir zur späteren Verwertung uns aneignen wollen, sondern das Verständnis für das geistige und künstlerische Wesen im Bauschaffen der früheren Zeitabschnitte, das Erkennen der Voraussetzungen für dieses Schaffen, die Ergründung der aus der Kultur der Zeit geborenen Bauaufgaben und die Feststellung der Grundlagen, auf denen sie ihre Lösung gefunden haben. Auf den Höhen der Wellenlinie wird man zwar das Ergebnis der Entwicklung hell und klar leuchten sehen, aber in den Tälern wird man die Ursachen der Entwicklung, die Kraftquellen suchen müssen, die die aufstrebende Bewegung gespeist haben.

Die Richtungsänderungen in den Entwicklungstälern kann man naturgemäß erst dann feststellen, wenn die Wellenhochpunkte bestimmt sind. Im Städtebau hat man die Hochpunkte bereits erkannt. Man hat sich mit der mittelalterlichen Stadtbaukunst auf der einen und mit der landesfürstlichen Stadtbaukunst auf der anderen Seite beschäftigt; das zwischen diesen beiden Hochpunkten liegende Wellental hat man aber sehr stiefmütterlich behandelt. Diesen Mangel zu beheben, will die vorliegende Arbeit zu einem kleinen Teile beitragen. Ihre Aufgabe ist es, die Richtungsänderung der Entwicklungslinie vom mittelalterlichen zum klassischen Städtebau festzustellen und zu klären.

Einleitung.

Der Städtebau des Mittelalters war nur im begrenzten Sinne eine Kunst. Er sah in der Planungsaufgabe eine in sich geschlossene Einzelaufgabe der Bodenerschließung, bei deren Lösung künstlerische Gesichtspunkte nicht auftraten. Der Grundriß der Stadt wurde nicht in der Vorstellung des Aufbaues gebildet. Planung und Aufbau waren zwei ganz verschiedene Aufgaben, die — soweit dies am heutigen Befund zu beurteilen ist — in verschiedenen Zeiten ihre Lösung fanden. Die mittelalterliche Stadt kann infolgedessen nur selten den Eindruck der einheitlichen Kunstschöpfung, wie etwa die klassische Stadt gewähren. Den Mangel großzügigen Entwurfes ersetzte aber das Mittelalter beim Aufbau seiner Städte durch Verständnis für die natürlichen Voraussetzungen architektonischer Wirkung, so daß die Gesamt-

anlage einer mittelalterlichen Stadt meist ein eindrucksvolles, abwechslungsreiches, städtebauliches Bild ergibt.

Mangel an Einheit kann man der antiken Stadtbaukunst nicht vorwerfen. Hier ist nur auf die städtebaulichen Grundsätze Vitruvs[1]) kurz einzugehen, da die zehn Bücher Vitruvs eine der Hauptquellen aller theoretischen Erörterungen der Renaissance geworden sind.

Vitruv empfiehlt zur Wahl als Siedlungsgelände eine hochgelegene, vor Nebel und Frost geschützte und durch gesunde Luft ausgezeichnete Gegend. Selbstverständliche Voraussetzung für das Gedeihen einer Neusiedlung sei das Vorkommen von einwandfreiem Trinkwasser und die natürliche Fruchtbarkeit der Umgegend. Die Gegend müsse auch durch gut ausgebaute Landstraßen erschlossen sein. Wertvoll wäre die Nähe eines Seehafens.

Nach Auswahl des Siedlungsgeländes habe die erste Sorge der Stadtbefestigung zu gelten. Die Mauertürme müßten nach außen hin vorspringen. Die äußeren Toreingänge dürften nicht leicht erreichbar, sondern müßten rings von einer möglichst abschüssigen Böschung umschlossen sein. Die Aufgänge seien nicht in gerader Linie, sondern von der linken Seite her schräg zu den Toren zu führen. Dann müsse der Feind beim Anrücken gegen das Tor seine rechte (vom Schilde) nicht gedeckte Flanke dem Verteidiger bieten, der dadurch einen Vorteil über den Angreifer gewänne. Die Entfernung der einzelnen Mauertürme voneinander sei etwa in Bogenschußweite zu wählen, damit das Mauerstück zwischen den beiden Türmen gut beiderseits gedeckt werde. Die Türme selbst führe man in runder oder in vieleckiger Grundform aus (die viereckigen würden schneller von den Belagerungsmaschinen zerstört). Die besten Stadtmauern seien die mit äußerem Schanzwerk geschützten. Den Städten gebe man am besten eine vieleckige oder eiförmige, aber keine quadratische Grundform; auch eckige Vorsprünge an den Fluchtlinien der Umfassungsmauern seien zu vermeiden. Bei Anlage der Straßen und Gassen müsse man die Himmelsrichtungen und die herrschenden Windrichtungen beachten. Um die Straßen vor heftigem Windzug zu schützen, sei das Straßennetz im Winkel zur herrschenden Windrichtung zu legen. Bei Auswahl und Anordnung der Plätze müsse man sich von praktischen und gesundheitlichen Gesichtspunkten leiten lassen. Besondere Beachtung bei der Stadtplanung verdienten die dem Gemeinwohl dienenden Anlagen, besonders die Tempelbezirke und der Markt. Die Bauplätze für die Tempel der Hauptgottheiten Jupiter, Juno, Minerva, seien an einer möglichst hervorragenden Stelle, von der man den größten Teil der Stadtwälle überschauen könne, zu wählen. Der Tempel des Merkur gehöre auf den Markt oder an den Stapelplatz der Kaufmannsgilde. Apollo und Pater liber erhielten ihre Tempel in der Nähe des Theaters, Herkules beim Gymnasium, Amphitheater oder Zirkus, Mars beim Truppenübungsplatz außerhalb der Stadt, Venus, aus sittlichen Gründen, gleichfalls außerhalb der Stadt. Auch der Tempel der Ceres finde seinen Platz am besten abseit eines vielbegangenen Weges außerhalb der Stadt.

Der Markt solle bei einer Binnenstadt in der Mitte des Ortes, bei einer Hafenstadt unweit des Hafens liegen. Die Griechen hätten ihre Marktplätze quadratisch angelegt, die Römer wählten lieber als Grundform des Marktes ein ungleichseitiges Rechteck, dessen Länge die doppelte Ausmessung der Breite erhalte. Der Markt sei mit offenen Hallen zu umziehen, in deren Erdgeschoß Wechslerbuden und Läden, im Obergeschoß Zuschauerplätze einzurichten seien. Die Größe des Marktes müsse sich nach der Einwohnerzahl des Ortes richten; es müsse zwar genügender Raum für den öffentlichen Verkehr vorhanden sein, doch dürfe der Markt nicht zu groß angelegt werden, damit er nicht bei spärlicher Volksmenge unbelebt erscheine. Schatzhaus, Gefängnis und Rathaus müßten mit dem Markt in Verbindung stehen; ihre Größe müsse auf die der übrigen am Markt befindlichen Gebäude Rücksicht nehmen. Das Rathaus müsse in jeder Beziehung würdig sein, es habe das Ansehen der Stadt und die Macht des Staates zu verkörpern.

Aber nicht nur praktische städtebauliche Fragen erörtert Vitruv, er schneidet[2]) auch wichtige ästhetische Fragen an. Der Städtebauer habe immer darauf zu achten, daß die öffentlichen und privaten Gebäude eine ihrer Stellung im Stadtbilde entsprechende Einzeldurchbildung erführen. Sei bei der Bearbeitung des Vorentwurfes des einzelnen Gebäudes ein harmonisches Verhältnis der Teile zueinander und zum Ganzen erreicht, dann müsse die Weiterbearbeitung des Entwurfes vor allem der natürlichen Eigenart des Bauplatzes Rechnung tragen. Mit Rücksicht auf die besondere Zweckbestimmung des Bauwerkes und die Eigenart des Baugeländes werde man oft zu Abweichungen von der Regelform genötigt sein. Bei diesen Abänderungen müßten die etwa entfernten oder zugefügten baulichen Glieder mit feinem Gefühle gewählt werden, damit das ausgeführte Bauwerk einen in jeder Beziehung angenehmen Eindruck hervorrufe, oder, wie Vitruv sagt: „beim Anblicke keinen Fehler erkennen lasse". Ein Bauwerk erscheine nämlich verschieden von verschiedenen Beschauerpunkten aus gesehen. Es werde auch einen verschiedenen Eindruck erwecken, je nachdem es eingeengt in dichter Umbauung oder auf freiem Platz zu stehen komme. Daher habe man stets mit feinsinnigem Kunstverständnisse zu prüfen, welche Anordnung im Einzelfalle zu treffen sei.

Hauptteil.

Der Städtebau der Renaissance.

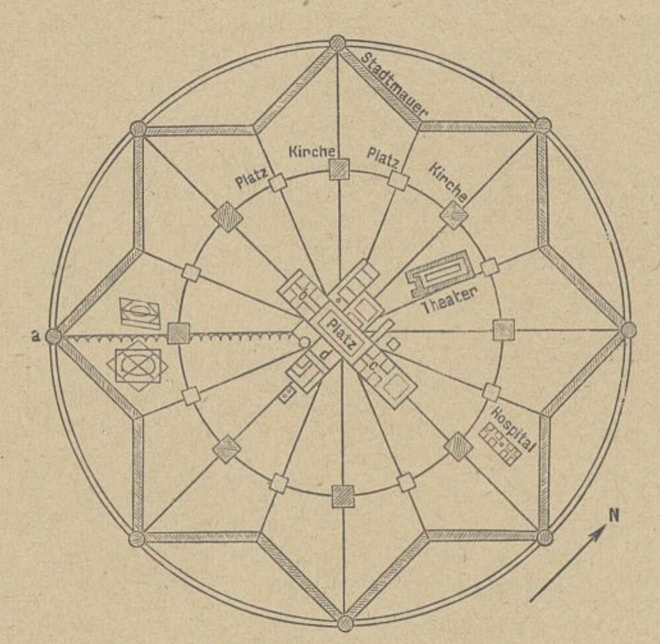
I. Die erste Entwicklungsstufe.

Das Studium des Vitruv war für die beginnende Renaissance eine Wissenschaft. Vitruv zu verstehen und richtig zu deuten, war eine Kunst. Die Bildung, die Filarete, den wir zeitlich als den ersten Theoretiker des Städtebaues der Renaissance ansehen können, besaß, reichte hierzu nicht aus, ja es ist fraglich, ob er selbst Vitruv im Urtext hat lesen können, wenn er sich auch gern den Mantel einer so hohen Bildung umhängt. Filarete kleidet in seiner 1464 vollendeten Abhandlung[3]) seine architektonischen Lehren in die

1) Zehn Bücher über Architektur des Marcus Vitruvius Pollio, übersetzt und erläutert von J. Prestel, Straßburg 1912. Vgl. I. Buch Kap. 4 bis 7. V. Buch Kap. 1 bis 3 und VI. Buch Kap. 2.

2) Im 2. Kapitel des 6. Buches.

3) Antonio Averlino Filarete's Traktat über die Baukunst. Bearbeitet von Dr. W. v. Öttingen, Wien 1896. Stein, Chr. Otto, Die Architekturtheoretiker der italienischen Renaissance (Karlsruher Dissertation) Karlsruhe 1914.



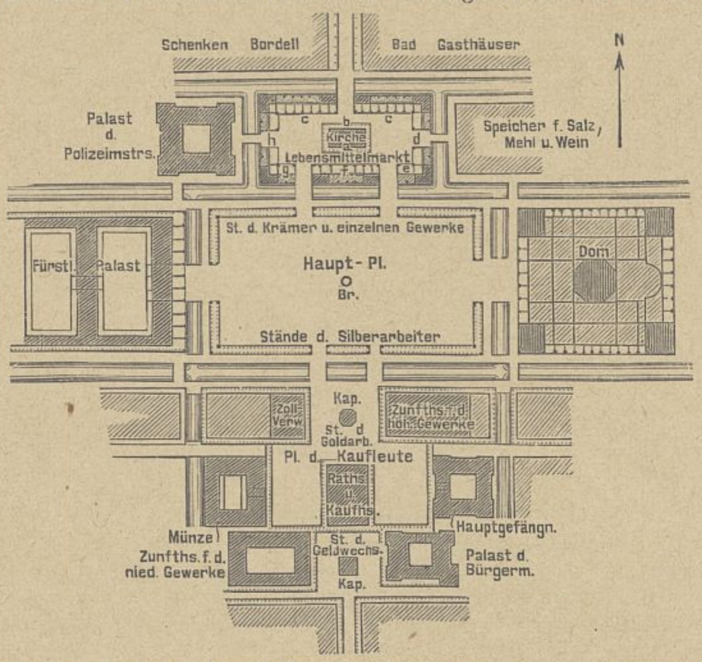
a Turm *b* Palast *c* Dom *d* Platz der Kaufleute

Abb. 1. Filarete. Musterstadt Sforzinda.

Form eines Romanes, in dem ein reicher Fürst (Francesco I Sforza, Herzog von Mailand) durch einen bedeutenden Architekten (Filarete) veranlaßt wird, eine ganze Stadt „Sforzinda" zu erbauen. Als Siedlungsstelle für diese Musterstadt sucht der Architekt — wie Vitruv empfohlen hat — unweit eines Gebirges, aus dem alle Baustoffe leicht beschafft werden können, ein Gelände, das gesunde Luft hat, fruchtbar und einträglich ist.

Auch Filaretes erste Sorge bei der Stadtplanung gilt der Befestigung. Für die Stadtgrundform und ihre innere Aufteilung macht er zuerst einen rohen Entwurf, den er im Fortgang seiner Erzählung dann weiter ausgestaltet, im einzelnen ergänzt oder auch gänzlich verändert.

Die Grundform der Stadt sollen zwei Quadrate bilden, „die so aufeinander gelegt sind, daß ihre Ecken nicht zusammenfallen (Abb. 1). Vielmehr muß immer eine Ecke genau in die Mitte zwischen zwei anderen zu liegen kommen." Die



a Stände der Trödler *b* Gemüse- und Obsthändler *c* Fleischbänke *d* Fischhalle *e* Halle für Geselchtes *f* Geflügelhalle *g* Käsehalle *h* Brotbänke

Abb. 2. Filarete. Marktplatz in Sforzinda.

Stadttore sollen in die Winkel der sternförmigen inneren Stadtmauer verwiesen werden, die keine rechten sind. Von den Toren sollen Straßen zur Stadtmitte führen. Hier wird ein Hauptplatz vorgesehen, dessen Mitte ein Turm[4]) zieren soll, der die Stadt beherrschen und die Umgegend überwachen kann. An die Langseiten des Hauptplatzes sollen sich Nebenplätze für den Verkauf von Kaufmannsgütern und Lebensmitteln anschließen. Von vornherein wird an die Anlage weiterer Plätze für öffentliche Gebäude und an die Notwendigkeit gedacht, die Einordnung von Kirchen, Theater, von Viehmarkt und Turnierplatz rechtzeitig vorzunehmen. Filarete versichert dabei, daß er alle Hauptplätze nach ihrem Zwecke einteilen — also wohl auch bemessen — werde.

Nach dem rohen ersten Entwurf der allgemeinen Stadtanlage geht Filarete an die Einzelbearbeitung und an den Aufbau der Stadt. Auch hier wird mit den Festungsbauten begonnen. Die Hauptmauer mit Mauergang, an deren Innenseite eine Ringstraße entlang läuft, trennt die Stadt von den Befestigungsanlagen. Die sternförmige Mauer ist an den vorspringenden Ecken mit Rundtürmen bewehrt, an den einspringenden Ecken werden Torbauten mit vier Ecktürmen ausgeführt. Die innere Mauer wird durch einen von Futtermauern eingefaßten Graben von der äußeren niedrigeren Vormauer getrennt. Auch die Vormauern erhalten Tore und Türme. Die Vortore sind mit Zugbrücken, die über den zweiten Graben führen, ausgestattet. Vor jedem Außentor soll eine dreieckige Vorschanze angeordnet werden. Die Vormauer soll durch Türmchen, die nach außen vortreten, aber nach innen bündig sind, verstärkt werden. Von Aufstellungsmöglichkeiten neuzeitlicher Kriegsmaschinen auf den Wällen wird nicht gesprochen. Als Kriegsmaschinen werden erwähnt, die „Bombarde", ein Name, mit dem eine Schleudermaschine und zu jener Zeit wohl jedes Pulvergeschütz bezeichnet wurde, und die Armbrust (für beide werden Schießscharten angelegt). Auch Wurflöcher zum Schleudern von Steinen sollen angelegt werden. Die Kriegstechnik, mit der Filarete rechnet, ist demnach fast mittelalterlich.[5])

Bei der Einzelbesprechung des Stadtplanes hören wir, daß von den Toren aus Laubenstraßen zur Stadtmitte führen. Die Lauben sind als Fußsteige gedacht und um einige Stufen über die Straße erhöht. Alle 16 Straßen sollen etwa in der Mitte ihres Verlaufes von Plätzen unterbrochen werden, die abwechselnd Kirch- und Marktplätze sein sollen und die miteinander durch eine kreisrund geführte Ringstraße verbunden sind. Um den lärmenden Wagenverkehr zu beschränken, will Filarete die Plätze und Märkte mit schiffbaren Kanälen umziehen und jede zweite Haupstraße — also 8 von den vorhandenen 16 Straßen — zu einer von Säulengängen eingefaßten Wasserstraße ausgestalten. Die Hauptstraßen werden 40 Armlängen oder Braccia (rd. 25 m), die Nebenstraßen 20 Braccia (rd. 12,50 m) breit angelegt.

Jetzt kommt Filarete auch zur eingehenden Besprechung der Platzgruppen inmitten der Stadt. Ein Versuch, nach seinem Schrifttext die Gestaltung dieser Platzgruppe zu

4) Später gibt Filarete den Turm auf und ersetzt ihn durch einen Brunnen.

5) Ein gewisser Übergang zu neuzeitlicher Befestigungsart könnte in den dreieckigen Vorschanzen vor den Außentoren gefunden werden, vielleicht ist hier eine Anknüpfung Filaretes an Leonardo da Vinci zu erkennen.

skizzieren, ist in Abb. 2 gemacht. Da sich Filarete in seinen Ausführungen sehr häufig widerspricht, kann diese Skizze nur eine ungefähre Vorstellung seiner Absichten geben. Die Platzgruppe gibt keine Lösung für den Zusammenschluß der 16 einmündenden Strahlenstraßen. Mit keinem Wort erwähnt Filarete bei der Einzelbesprechung seines Planes diese selbstgestellte Aufgabe. Ob er absichtlich der Schwierigkeit der Lösung aus dem Wege gegangen ist, oder ob er die Auseinanderstrahlung der Straßen erst in einiger Entfernung von der Platzgruppe vornehmen wollte, mag dahingestellt bleiben. Die Platzgruppe sammelt die wichtigsten öffentlichen Gebäude der kirchlichen und weltlichen Obrigkeit und dient in erster Linie der Reglung des wirtschaftlichen Verkehrs.

Selbst der Hauptplatz mit Herzogspalast und Dom ist nicht nur Staatsplatz. In der Nähe seiner Zugänge sollen die Silberarbeiter ihre Stände erhalten, ihnen gegenüber die Krämer und die Gewerke, die hierzu als die geignetsten[6]) erscheinen. Rings um den Hauptplatz sollen auch Kaufläden mit Unterkellerungen ausgeführt werden. Nördlich des Hauptplatzes liegt der Lebensmittelmarkt von einem Kanal umflossen; er wird von einer durch eine Scheidewand der Länge nach geteilte Säulenhalle umzogen. Die nördliche Langseite enthält die Fleischbänke. Gegen den Platz hin sind die eigentlichen Verkaufsstände, von ihnen führen kleine Türen in die Schlacht- und Kühlräume[7]) am Kanal. Die östliche Schmalseite nimmt die gleichartig eingerichtete Fischhalle ein, an der Südseite befinden sich die Verkaufsstände für Geflügel, Käse u. dgl. Am Westende stehen die Brotläden. Die Stufen um die Kirche sind den Grünkramhändlern und Trödlern vorbehalten. Im Oberstock der Kaufhallen befinden sich Zunfträume für die einzelnen Gewerke. Jenseit des Kanals wird westlich des Lebensmittelmarktes der Palast des Polizeimeisters in der Nähe des Marktes errichtet, weil hier die Marktpolizei untergebracht ist; auf der Ost- und Nordseite stehen Speicher für Salz, Mehl, Wein, ferner Garküchen, Schenken, Gasthäuser und an der Hauptzugangsstraße Badehaus und Bordell.

Auf dem Markte der Kaufleute südlich des Hauptplatzes steht das Rathaus, dessen ganzes Erdgeschoß von einer Pfeilerhalle, in der die Kaufleute ihre Stände erhalten, gebildet wird. Der Platz wird von Lauben umzogen. An seinen Wandungen finden der Palast des Bürgermeisters, das Gefängnis, die Münze, die Zollverwaltung[8]) und zwei Zunfthäuser ihren Bauplatz. Zwei kleine Nebenplätze auf den Langseiten des Platzes werden mit Kapellen geschmückt. Auf dem einen sollen die Juweliere und Goldarbeiter, auf dem anderen die Geldwechsler ihre Stände erhalten.

Bei Besprechung der Wohnviertel nennt Filarete „drei Klassen von Privatgebäuden“, die Häuser der Adligen, der Bürger und des untersten Standes. Er bespricht das dreistöckige Haus des Edelmannes, das Haus des Kaufmanns und Handwerkers, beide mit Hof und Garten, und das Haus des armen Mannes, für dessen Familie eine Hütte mit einem Raum von 6 zu 7 m Größe genügte.

Die Häuser für Gewerbetreibende will Filarete gruppenweise zusammenlegen, so daß die Handwerker einer Gattung zusammen wohnen. Dabei sollen die vornehmen Gewerbe, wie die Kaufleute, Geldwechsler und Goldschmiede an die Hauptplätze, die niederen, wie die Schiffbauer, Wagner, Seiler und Böttcher in die äußeren Blöcke, die Maurer und Hufschmiede an die Tore verwiesen werden. Nur die Apotheker und Barbiere sollen sich zur Bequemlichkeit der Einwohner in allen Straßen gleichmäßig verteilt ansiedeln. Große Gebiete der inneren Stadt bleiben vorerst unbebaut. Später schlägt Filarete vor, auf das unbebaute Gelände ganz phantastische Häuser der Tugend und des Lasters zu errichten.

Filarete macht auch einen Vorschlag für die Regelung der Straßenreinigung, er will in der Stadtmitte ein großes Sammelbecken errichten, mit dessen Abflüssen von Zeit zu Zeit sämtliche Straßen und Plätze überschwemmt und gespült werden können. Alle Straßen sollen Gefälle von der Stadtmitte nach außen hin erhalten, um das Niederschlagwasser schnell aus der Stadt abzuführen. Eine Wasserleitung soll die Stadt von weither mit Süßwasser versorgen.

Filaretes Stadt „Sforzinda“ erscheint als ein phantastischer Versuch. Aber gerade als solcher ist er wertvoll. Sichtlich stellt sich Filarete die Aufgabe[9]), eine Stadt aus einem Guß zu schaffen, „die schön, tauglich und, soweit es der natürliche Lauf der Dinge zuläßt, dauerhaft werden soll“. Dort, wo er sich aber an die Lösung dieser Aufgabe begibt und wo er auf dem Boden der Wirklichkeit bleibt, wo er z. B. die praktische Platzverteilung für die Kaufleute, Handwerker und ihre Stände vornimmt, bleibt er in den Ansichten und Ergebnissen des Mittelalters befangen, wo er bewußt etwas Neues schaffen will, z. B. in der Zusammenführung von 16 Straßen in der Stadtmitte, wagt oder findet er nicht eine praktisch verwendbare Lösung. Filarete steht durchaus auf der Grenze zweier Zeiten, er verachtet und schmäht das Mittelalter, er sieht als Fata morgana eine neue Zeit des Städtebaues; aber diese neue Zeit des Städtebaues bleibt für ihn und ebenso für den Leser seines Buches eine durchaus ungeklärte und unfaßbare Vorstellung, ein Gaukelbild.

Colonna. Auch sein Zeitgenosse, der Dominikaner Francesco Colonna[10]) träumt in seiner 1499 erschienenen Hypnerotomachia von der Sehnsucht nach der geliebten Antike. Auf der Suche nach ihr kommt er zur Insel der Venus, einem Garten von kreisrunder Form. Ihre äußere Wandung längs des Gestades wird von einer Reihe regelmäßig verteilter Zypressen und einer Myrtenhecke gebildet, aus der geschnittene Bäume hervorwachsen, und durch die Eingänge in den inneren Garten führen. Der Garten selbst besteht aus drei gleichbreiten Ringen, die den eigentlichen Kern — ein Amphitheater — umschließen: einem Garten-, einem Wiesen- und einem Waldring. Die beiden äußeren Ringe sind durch 20 nach der Mitte der Insel führende Wege in je 20 Teile zerlegt, während der Gartenring seine Unterteilungen durch Marmorschranken und Hecken findet, die durch Bildwerke oder Brunnen geschmückt werden. Der mittlere wird von

6) Über die Verteilung im einzelnen will sich Filarete nicht verbreiten, er sei überzeugt, daß man die einzelnen Gewerke dahin weisen werde, wohin sie am besten passen würden.

7) Filarete sagt, daß er diese Maßregel trifft, damit sich bei den Fleischbänken keine Fäulnis entwickeln und schlechte Luft von dorther in der Stadt verbreiten könne.

8) Die Zollverwaltung ist an diese Stelle gelegt, damit die Waren auf Barken und Wagen eingeliefert werden können.

9) Vgl. Buch I Ausgabe v. Öttingen, S. 48.

10) Vgl. Stein, Die Architekturtheoretiker der italienischen Renaissance. Karlsruhe 1914.

dem Waldringe durch einen kreisförmigen, von Säulenhallen auf beiden Seiten begleiteten Kanal getrennt. Jetzt beginnt das Gelände nach der Mitte hin stufenförmig anzusteigen. Am Waldring enden alle Strahlenwege; nur eine Hauptstraße führt durch das Buschwerk hindurch zum Kern der Gesamtanlage, zum Amphitheater. In der Arena schließlich steht das Quellhaus „der Brunnen der Venus". Das Ganze ist eine durchaus städtebaulich aufgefaßte, einheitlich erdachte Gartenanlage. Auch hier beherrscht der Zentralgedanke die Gesamtanlage.

Dieser Gartentraum von Colonna findet ein Gegenstück in einer Skizze, die von Fra Giacondo stammen soll und die Geymüller[11]) veröffentlicht und in die Zeit nach 1505 datiert hat (Abb. 3). Sie hat eine Nachbildung in einer gleichartigen Skizze des Pariser Architekten Du Cerceau gefunden (Abb. 4), die von Geymüller an gleicher Stelle veröffentlicht wird.

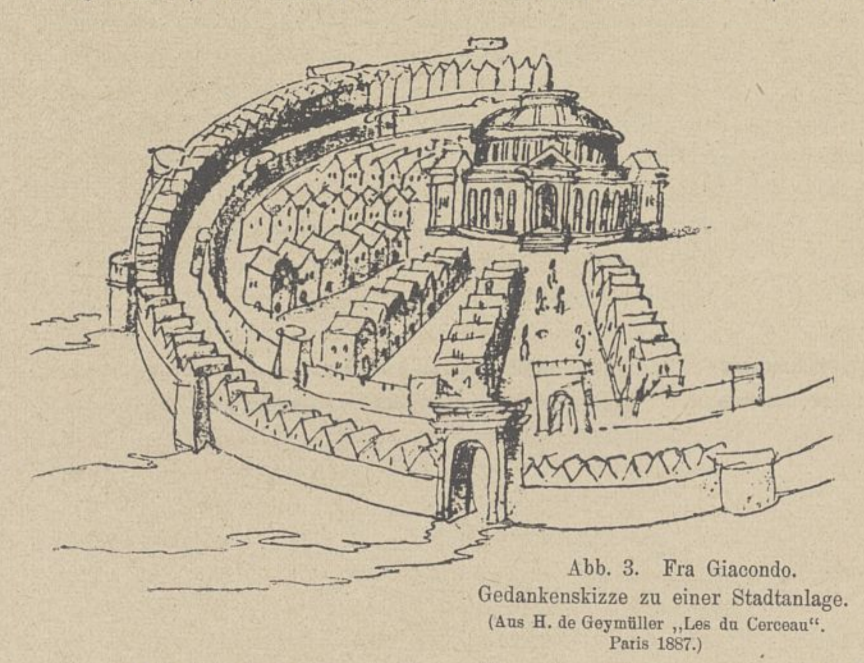


Abb. 3. Fra Giacondo. Gedankenskizze zu einer Stadtanlage. (Aus H. de Geymüller „Les du Cerceau". Paris 1887.)

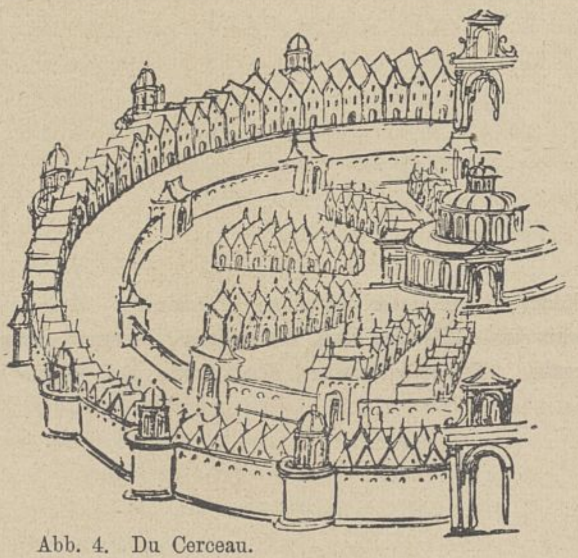


Abb. 4. Du Cerceau. Gedankenskizze zu einer Stadtanlage. (Aus H. de Geymüller „Les du Cerceau". Paris 1887.)

Alberti. Eine viel bewußtere Stellung, als die bisher Benannten, nimmt Leon Battista Alberti[12]) zu den Fragen des Städtebaues ein. Er schaut nicht träumend nach Schlössern, die im Monde liegen, sondern studiert sowohl die Antike und ihre Schriftsteller, als auch das Mittelalter. Als hochgebildeter und abgeklärter Mann erkennt er, daß die mittelalterlichen Städte Schönheiten besitzen, die nicht verachtungswürdig sind. Sein berühmtes Werk „de re aedificatoria" ist erst nach seinem 1472 erfolgten Tode gegen 1485 im vollem Umfange veröffentlicht. Im 4. Buch des Werkes, dem „universorum opus", das von den Anlagen allgemeiner Art für die Gesamtheit der Menschen, den Heerstraßen, den Mauern, Toren, Straßen und Plätzen der Städte, ihren Brücken und Kanälen handelt, gibt Alberti eine Charakterisierung des damaligen Städtebaues, er stellt sozusagen den Befund und seine Eigenarten fest. Er geht aber auch noch im 7., 8. und 9. Buche auf städtebauliche Fragen ein und zwar hier im zweiten Teile des Werkes in ganz anderem Sinne als im ersten. Hier zieht er die Lehren aus seinen Feststellungen, jetzt gibt er Anregungen für eine praktische städtebauliche Tätigkeit.

Alberti meint, daß die Auswahl des Ortes für die Anlage einer Stadt das Wichtigste sei. Man müsse als Siedlungsgelände ein Gebiet wählen, das gesund, sehr ausgedehnt, abwechslungsreich, lieblich, fruchtbar, geschützt und reich an Quellen sei. Es müsse Flüsse und das Meer in erreichbarer Nähe haben, damit man bequem zu Schiff Güter, die im Lande fehlten, einführen, und die erübrigt würden, ausführen könne. Gut, besonders in Zeiten, in denen das Land blockiert sei, wäre es, wenn das Land reichliche eigene Hilfsmittel besäße, um seine Bewohner zu ernähren. Man solle die Stadt in die Mitte des Gebietes legen, von wo man seine Grenzen übersehen, das Günstige entscheiden und zur richtigen Zeit sofort dort sein könne, wo es notwendig erscheine, von wo der Landmann und der Ackersmann häufig zur Arbeit gehen und vom Acker mit Frucht und Ernte beladen unschwer heimkehren könne. Es müsse auch alles vorhanden sein, um die Verwaltung der Stadt und ihre Rüstung rühmlich auszugestalten, um den Bewohnern zum Schutz, der Stadt zur Zier, den Freunden zum Vergnügen und den Feinden zum Schrecken zu werden. Die Gegend, in der eine Stadt liege, und das Stadtgebiet selbst werde durch eine geeignete Verteilung und Anordnung der städtischen Baumassen gewinnen können. Die Stadt selbst als Ganzes sei eine öffentliche Anlage. Ihre Größe soll so bemessen werden, daß genügend Gelände für Wohnviertel und Straßenland zur Verfügung stehe, daß auch Gärten, Wandelhallen und Vergnügungsbauten angelegt werden können und daß sie auch eine Vermehrung der Bürgerzahl bequem aufnehmen könne. „Alberti meint, die geräumigste Stadt wird die sein, die rund ist, die sicherste die, die mit bauchigen Mauerkrümmungen umwallt ist", denn der Feind könne dann schwer mit Aussicht auf Erfolg seine Kriegsmaschinen vor der Befestigung auffahren lassen. Die Hauptaufgabe einer Stadtanlage sei darin zu erblicken, daß sie ihren Einwohnern ein friedliches, möglichst sorgenloses und von Beunruhigung

11) Geymüller, Baron Henry de, „Les du Cerceau" (Biblioth. int. de l'art 13), S. 64. Paris, London 1887.

12) Leon Battista Alberti, Zehn Bücher über die Baukunst. Ins Deutsche übertragen, eingeleitet und mit Anmerkungen und Zeichnungen versehen durch Max Theuer. Wien und Leipzig 1912. — Die hier entwickelte Ansicht über Albertis Stellung zum Städtebau weicht zum Teil ab von der Eberstadts. Vgl. daher Eberstadt, Prof. Dr. Rud., Städtebau und Wohnungswesen in Holland. Jena 1914, und von demselben „Zur Geschichte des Städtebaues" in Kunst und Künstler, Jahrg. 14, Heft 10. Juli 1916.

freies Leben zusichere. Den hauptsächlichsten Schmuck einer Stadt würden einerseits die Straßen und Plätze, ihre Führung, Gestalt und Ausdehnung und anderseits die einzelnen Bauten bilden. Es müsse aber alles dem Bedürfnis, dem Ansehen und der Zweckmäßigkeit angepaßt werden.

Die Straße, soweit sie dem öffentlichen Verkehr diene, sei öffentliches Gut. Alberti unterscheidet Militärstraßen und Nichtmilitärstraßen. Militärstraßen sind die, die für die Fortbewegung des Heeres in Betracht kommen. Zu ihnen rechnen in erster Linie die großen Landstraßen. Diese sollen im Felde bequem sein. Sie sollen frei übersehbar und vor Behinderung durch Wasser und Einsturz gesichert sein. Sie sollen zielgerecht und möglichst kurz geführt werden. Die kürzeste Straße werde jedoch nicht die sein, die als Gerade gezogen werde, sondern die in vorsichtigster Weise angelegt sei. Auf die Tore einer befestigten Stadt soll die Landstraße nicht geradeaus, sondern zur leichteren Verteidigung des Stadtzuganges erst eine Strecke an den Mauern entlang geführt werden; auf berühmte mächtige Gemeinwesen könnten die Landstraßen in gerader Linie zuführen.

Im Stadtinnern braucht die Heerstraße nicht schnurgerecht geführt werden, sondern kann auch, einem Flußlauf gleich, in leichter Biegung gekrümmt sein. Alberti untersucht im 4. Buche den Wert und Unwert einer gekrümmten Straße. Es macht den Eindruck, als wenn er sie gegen Angriffe der Zeitkritik in Schutz nähme. Er meint, die Vorzüge einer gekrümmten Straßenführung seien mannigfaltig: die geschwungene Straße lasse die Stadt größer erscheinen. Sie gestatte unter Umständen eine bessere Durchsonnung und Durchlüftung der Häuser. Es sei auch von großem Reiz, wenn sich dem Beschauer beim Durchschreiten der Stadt auf Schritt und Tritt neue Bilder böten, wenn die Gebäude nur allmählich und stückweise in Erscheinung träten. Alberti stellt hier fest, daß der Wechsel im Straßenbild eine charakteristische Erscheinung der damaligen Städte war, er stellt auch fest, daß in ihm ein ganz bestimmter städtebaulicher Reiz liegt, ohne das er damit zum Ausdruck zu bringen braucht, daß das Mittelalter die Straßenkrümmung bewußt zur Hervorbringung künstlerischer Wirkungen im Stadtbilde verwandt habe.

Die nichtmilitärischen Straßen könnten fast die Eigenschaft von Plätzen haben, wie die, die nach einem öffentlichen Gebäude führten; andere seien als kleine Gassen ausgebildet, wie die, die Hauptstraßen miteinander verbänden, keinen öffentlichen Weg darstellten, sondern nur den Zugang zu dem anstoßenden Grundstück verbesserten und diesem eine reichlichere Lichtzufuhr schafften.[13]) Im 17. Kapitel des 5. Buches werden auch die Traufgassen (Nachbargassen) erwähnt. Diese seien bald so breit, daß sie von der Luft gut ausgetrocknet werden könnten, bald schmal; aber dann müßten sie mit starkem Gefälle versehen werden, so daß das Wasser schnell in den Straßenkanal abgeführt werden könne. An einer Stelle findet auch die Mauerringstraße eine besondere Erwähnung, man solle der Würde halber innerhalb des Angers vor den Mauern einen breiten Weg herumführen und ihn der öffentlichen Benutzung widmen, doch soll ihn gar niemand, weder durch einen Graben noch durch eine Mauer, einen Zaun oder eine Baumpflanzung ungestraft behindern dürfen.

Wenn Alberti in der ersten Hälfte seines Werkes in der Hauptsache eine Erklärung der Grundsätze gibt, nach denen die Städte vor ihm entstanden sind, und dabei gleichzeitig ihre Schönheiten zu würdigen und zu ergründen versucht, entwickelt er im 7. und 8. Buche mehr seine persönlichen Ansichten über Stadtplanung und Straßenführung. Er meint, es sei für ein Gemeinwesen nötig, bestimmte Stadtgegenden, wie den Marktplatz,[14]) den Hafen[15]) und bestimmte Straßenzüge, wie die, die zu wichtigen öffentlichen Gebäuden führten, besonders stattlich auszubilden. Auch einzelne Stellen im Straßenzuge verdienten eine besondere Betonung, so z. B. der Dreiweg[16]) und die Brücke. Der Dreiweg unterscheide sich vom Markte nur durch die Ausdehnung, er sei ein kleiner Markt.[17])

Eine selbstverständliche Voraussetzung für die Würde der Straßen und Plätze sei ihr allgemeiner baulicher Zustand; sie müßten ordentlich gepflastert und sauber[18]) sein. Das Ende und gleichsam das Ziel aller Straßen sei das Tor. Die Ausmündung einer Straße auf einen Platz könne in hervorragender Weise durch einen Triumphbogen ausgezeichnet werden. Ein besonderer Schmuck der Straße, des Dreiwegs und des Platzes seien die begleitenden Säulenhallen. Eine Straße würde durch eine Säulenhalle von ganz gleicher Zeichnung in besonderem Maße geschmückt, ebenso durch die einrahmenden Häuser, wenn diese gegenseitig vollkommen ausgeglichen wären und in einer ganz geraden Linie ständen. Damit stellt Alberti dem im ersten Teile seiner Arbeit als charakteristisch für die damalige Zeit erkannten Wechsel im Straßenbilde ein dem Mittelalter unbekanntes, dem Altertum entlehntes neues Ideal gegenüber, „die gerade Straße und die einheitliche Blockfront“, die er zur Ausführung empfiehlt. Die Säulenhallen, die den Markt umgeben, müßten auch in ihren Maßen der Freifläche des Platzes angepaßt werden, damit diese nicht zu ausgedehnt erscheine, wenn sie von niedrigen Gebäuden umgeben sei, oder einen zu engen Eindruck mache, falls der sie umziehende Gebäudegürtel zu hoch geraten sei. — Er will also den Markt als Raum aufgefaßt sehen. —

13) Alberti sagt (S. 202 in der erwähnten Ausgabe): „Doch finde ich, daß es den Alten gefiel, innerhalb der Stadt einige Straßen unentwirrbar und einige als Sackgassen anzulegen, bei deren Betreten der schuldige Feind schwankend und mißtrauisch zögert, oder, wenn er kühner ist und ausharrt, bald vernichtet wird“; ein Beweis, daß Alberti sehr wohl erkennt, in welchem Umfange militärische Erwägungen die Stadtplanung des Mittelalters beeinflußt haben.

14) Alberti hält als Grundform des Marktes eine Fläche für empfehlenswert, „die zwei Vierecke ausfüllt“ — er meint damit wohl die auch von Vitruv empfohlene rechteckige Grundform, deren Länge doppelt so groß als die Breite ist.

15) Am Hafen soll ein von Säulenhallen und Magazinen umgebener Platz angelegt werden, auf den viele Straßen münden, und der durch eine Hauptstraße mit der Mitte der Stadt in unmittelbare Verbindung zu bringen sei.

16) Unter Dreiweg versteht Alberti wohl die Straßengabelung und die Straßenkreuzung.

17) An Märkten nennt Alberti den Gemüsemarkt, den Rindermarkt, den Holzmarkt u. dgl., die sowohl ihren eigenen, ganz bestimmten Platz im Stadtplan als auch ihren eigenen Schmuck erhalten sollten; der Geldmarkt, meint er, müsse vor allen billigerweise der bedeutendste sein.

18) Alberti tadelt es, daß sich hier und da die schlechte Gewohnheit finde, eine Straße durch Anhäufung von Schutt anzulegen, man solle den Schutt abräumen und wegfahren und den Straßenkörper einebnen, damit nicht die Häuserblöcke und das Gelände der Stadt infolge Auftürmung der Straßendecke zu versinken drohe.

Günstig würde die Häuserhöhe am Markte sein, wenn sie etwa ein Drittel bis zwei Zwölftel der Platzbreite betrage.[19])

Alberti will die Stadt in Bezirke[20]) einteilen. Nicht nur die Fremden müßten ihre abgegrenzten Viertel erhalten, sondern auch die Bürgerschaft so in verschiedene Bezirke verteilt werden, daß jeder so, wie es seinem Geschäft und Stand angemessen sei, wohne. Die von Alberti empfohlene Einteilung entspricht ziemlich genau der von Filarete vorgeschlagenen. Am Markte sollten die Geldwechsler, Maler und Goldschmiede ihr Geschäft haben, an diese anschließend vielleicht die Gewürzhändler und Schneider, und am äußersten Ende der Stadt die niederen und unreinen Gewerbe.[21]) Hier und da werde zwar die Forderung aufgestellt, die vornehmen Viertel seien von der Masse des niederen Volkes gänzlich frei zu halten. Andere wünschten dagegen, daß jeder Stadtbezirk so ausgestattet sei, daß in ihm alles, was man brauche, erhältlich sei. Die Vertreter dieser Ansicht hielten es für angebracht, daß auch in den vornehmsten Vierteln Kaufläden aller Art angeordnet würden.

Als Schutzmaßnahme gegen inneren Aufruhr empfiehlt Alberti die Ausführung von inneren Stadtmauern, man soll Kreis mit Kreis umschließen, so daß ein Stadtaufruhr in der Stadt auf einen bestimmten Bezirk beschränkt werden könne.

Die öffentlichen Gebäude[22]) seien zweckentsprechend in der Stadt zu verteilen.

Das Haus des Herrschers sei, wenn dieser als Tyrann regiere, an den Außenrand des Ortes zu legen und nach allen Seiten zu befestigen. Es habe alle übrigen Gebäude in angemessener Entfernung zu halten. Wenn aber der Herrscher ein von seinen Untertanen geliebter Fürst sei, so könne er sein Stadtschloß inmitten des Ortes errichten und es mit Schauspielhaus, Kirche und Kavalierhäusern verbinden.

Eine schön gehaltene und wohl geschmückte Kirche könne zum größten und vorzüglichsten Schmuck der Stadt werden. Ihr Bauplatz müsse dann von vornherein zweckentsprechend ausgewählt werden. Er müsse von jeder weltlichen Berührung frei bleiben. Vor der Kirche werde am besten ein geräumiger und würdiger Platz angeordnet und dieser von breiten Straßen oder besser würdigen Plätzen umgeben. Dann könne das Gotteshaus von allen Seiten einen herrlichen Anblick gewähren. Die Hauptkirche werde inmitten der Stadt für die Bürgerschaft am bequemsten liegen.

Die Gebäude der herrschenden Gesellschaftsklassen seien bald mehr Geschäftsgebäude, bald mehr Wohngebäude; die vornehmen Privathäuser lägen am besten abseits vom Stadtgetriebe in stillen Gärten; die Geschäftsgebäude mit Vorplätzen dagegen in belebter Stadtgegend, leicht auffindbar. Das Stadthaus der Wohlhabenden werde des beschränkten Bauplatzes wegen meist mehrgeschossig anzulegen sein. Die Bauten der Minderbemittelten müßten in erster Linie praktisch sein. In einem Kaufmannshause müßte der Laden am prächtigsten sein, um die Käufer einzuladen. Man werde ihn bei einer Straßenkreuzung am besten an die Ecke und auf dem Markt an die dem Platze zugewandte Seite des Hauses verweisen.

Kein gescheiter Mensch werde sein Privathaus vor dem anderen durch Aufputz besonders hervorheben wollen. Denn der wahre Schmuck liege ja nicht im Aufwand an Mitteln, sondern im Reichtum an Geist. Überhaupt müsse jeder bei Gestaltung seines Hauses Rücksicht auf den Nachbar und dessen Haus nehmen. Auch in der Stadt sei die Ausdehnung in die Breite empfehlenswerter als der Stockwerkbau.

Eine Stadt müsse auch eine geregelte Abführung der Abwässer besitzen. Alberti empfiehlt unterirdische Abwässerungskanäle. Durch ihre Anordnung könne die Pracht der Stadt gesteigert und eine größere Sauberkeit in den öffentlichen und privaten Gebäuden erzielt werden. Durch sie könnten die Gesundheit des Ortes gehoben und die Ansteckungsgefahren gemindert werden.

Alberti fordert vom Städtebauer, daß er bei der Stadtanlage eine Lösung findet, bei der alles in vollkommener Weise dem Bedürfnis, dem Ansehen und der Zweckmäßigkeit angepaßt sei. Er zieht gleichsam das Ergebnis aus dem mittelalterlichen Städtebau. Dessen praktische Forderungen für die Verteidigung, für den Verkehr und für eine zweckmäßige Ansiedlung der verschiedenen Gesellschaftsschichten werden von ihm ebensowenig angefochten, wie von seinem Zeitgenossen Filarete; die Forderung, die bei Filarete vordringlich erkennbar ist, die Stadt als einheitliches Werk zu betrachten, ist von Alberti nicht erhoben. Trotzdem steht Alberti als Städtebauer weit über Filarete. Er kommt an vielen Stellen seines Werkes zu Vorschlägen, deren Beachtung die Stadtbaukunst früher geschaffen haben würde, als sie in Wirklichkeit entstanden ist. Allerdings sind diese Stellen über das ganze Werk verstreut, schon daran kann man erkennen, daß er noch nicht mit vollem Bewußtsein im Städtebau die Grundlage des architektonischen Gestaltens überhaupt erkannt hat, und doch trennt ihn von dieser Erkenntnis nur noch die Spanne des Erwachens.

Wenn schon die allgemein-architektonischen Lehren Albertis nur sehr langsam Allgemeingut der schaffenden Architekten der Renaissance wurden, so sind seine städtebaulichen Theorien zuerst fast vollkommen unbeachtet geblieben. Der Grund hierfür ist wohl darin zu suchen, daß Alberti der im Mittelpunkt des städtebaulichen Interesses stehenden Stadtbefestigung nur wenig Aufmerksamkeit gewidmet hat und hier jedenfalls noch ganz mittelalterlich geblieben war.

---

19) Während hier Alberti ganz ausgesprochen Straße und Plätze als Räume betrachtet sehen will, meint er im 5. Kap. des 9. Buches, wo er von der Harmonie der Verhältnisse spricht, daß es Aufgabe des Städtebauers bei Anlage von Straßen und Plätzen unter freiem Himmel sei, nur zwei Größen, und zwar die Länge und Breite, zueinander abzustimmen, sie in harmonischen Einklang miteinander zu bringen, während der Architekt bei der Schaffung von Räumen es mit drei Größen — Länge, Breite und Höhe — zu tun habe.

20) Alberti weist auf Plato hin. Plato habe Feld und Grund in zwölf Klassen eingeteilt und in jedem einzelnen Teil Tempel und Heiligtümer errichtet. Alberti meint, man müsse noch weiter gehen und in jedem Bezirk auch einen Sitz für die niedere Gerichtsbarkeit, eine Wache, Rennbahnen und Spielplätze und was sonst noch in Frage käme, vorsehen, damit jeder einzelne Bezirk an Zahl der Häuser zunehme und emporblühe.

21) Insbesondere müßten die Plätze der Lohgerber, deren Gewerbe einen üblen Geruch verbreite, abseits und gegen Norden zu verlegt werden, damit der bei ihnen entstehende Geruch nicht die Stadt verpestete.

22) Der Speicher, die Münze und das Arsenal seien im mittelsten und vornehmsten Teile der Stadt anzulegen, wo sie sicherer und besser zur Hand seien.

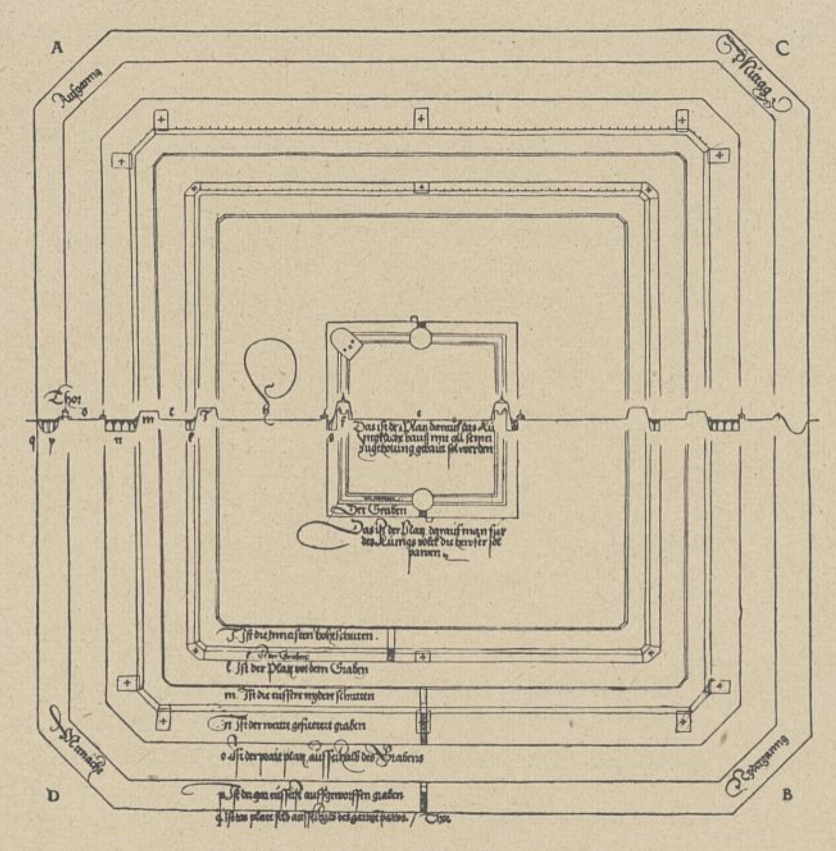


Abb. 5. Albrecht Dürer. Umwallung der Musterstadt.

Dürer. Für Deutschland wird ein Menschenalter später Dürer das, was Alberti für Italien ist.[23]) Dürer macht mit seinem 1527 in Nürnberg gedruckten Buche „Etliche underricht zu befestigung der Stett Schloß und flecken" Vorschläge für die Verstärkung älterer Befestigungen, für die Erbauung einer neuen Königsstadt mit Schloß und entwickelt hierbei den Plan einer vorbildlichen Stadtanlage.

Als Siedlungsgelände für seine Musterstadt wählt Dürer ein fruchtbares ebenes Flußtal. Der Fluß versorgt auch die Festungsgräben mit Wasser. Eine kleine Meile südlich der Stadt liegt ein Waldgebirge, das Steine und Holz zum Stadtbau liefern kann: also eine ähnliche geographische Lage, wie sie auch Filarete für Sforzinda bestimmt hat. Die Stadt soll auf quadratischer Grundform erbaut werden (Abb. 5). Das Stadtviereck liegt nach den Weisungen Vitruvs übereck zu den Haupthimmelsrichtungen „von wegen der Stärke der vier Winde, auf daß sich diese an den Ecken leichtlich abstoßen". Rings um die Stadt soll auf eine kleine Meile Wegs oder soweit eine „Schlange" (Feldschlange, Geschütz) zu reichen vermag, kein festes Haus erbaut oder ein Graben gezogen „noch ander werlich ding" angelegt werden, damit der Angreifer ohne Schutz- und Stützpunkt den Waffen der Verteidigung bei seinem Angriff ausgesetzt sei. Nur ein großes Tor, eine kleine Pforte und ein geheimer Eingang für den König soll in die Stadt führen. Die Tore, die hintereinander die einzelnen Wälle durchqueren, sollen zueinander versetzt werden, „auf daß, ob etwa in einer Schnelle eines abgelaufen würde, die inneren (Tore) ungewonnen bleiben".[24])

Die Mitte seiner Stadt nimmt des Königs Schloß ein, das mit allem seinem Zubehör auf einen quadratischen Platz von 224 m Seitenlänge verwiesen wird. Wie es dort im einzelnen ausgeführt werden soll, erwähnt Dürer nicht. Er wünscht seine Anlage „nach Angabe des alten Römers Vitruvius". Ihm schwebt hierbei wohl nicht eine bestimmte architektonische Lösung vor, er will wohl allgemein für die Ausführung des Schlosses eine ähnliche Forderung aufstellen, wie wir sie heute in die Worte „nach den anerkannten Regeln der Baukunst" zu kleiden pflegen. Ringförmig um das Schloß sieht Dürer das Siedlungsgelände für die Stadt vor, den „Platz, darauf man für des Königs Volk die Häuser soll erbauen".

Zwar bildet das Schloß die Mitte des Planbildes, zwar geben die Umfahrungslinien des Schloßviereckes mit den auf ihnen senkrecht stehenden Achsen die Hauptaufteilungslinien des Straßenplanes, aber trotzdem sind die Beziehungen des Schlosses zur Stadt nur lose, man könnte fast sagen, nur äußerliche. Weder im Grundplan noch in Dürers Textworten findet sich eine Andeutung davon, daß das Schloß die bauliche Erscheinung der Stadt bestimmen, daß das Schloß — um ein neuzeitliches[25]) Schlagwort zu gebrauchen — die „Stadtkrone" werden sollte. Das Stadtleben wird von Dürer auch nicht nach dem Schloß hin geordnet, sondern im Gegenteil nach den Ecken des Stadtvierecks geführt, in die Dürer gewisse Angelpunkte des innerstädtischen Lebens legt. So kommt (vgl. Abb. 6) in die Ostecke nach *A* die Kirche, in die Nordecke bei *C* vier Gießhütten, in die Westecke bei *B* ein Holzhof und in die Südecke bei *D* ein Speisenvorratshaus. Nur der Marktplatz, der vor dem Haupteingang zum Schloß liegt, steht zu diesem in gewissen städtebaulichen Beziehungen. Außer dem Marktplatz sind noch kleinere Plätze bei den öffentlichen Gebäuden, aber nicht aus ästhetischen, sondern nur aus Nützlichkeitsgründen ausgespart, damit „man Raumes genug vor diesen Häusern habe allerlei zu handeln".

Vor Bemessung und Verteilung der Baustellen rät Dürer „ordentlich zu betrachten, wie die Häuser zu allerlei Notdurft nützlich eingeteilt werden". Er will also die Baustellen mit Rücksicht auf ihre spätere Verwendung bemessen sehen. Neben die nützlichen Gesichtspunkte treten gesellschaftliche Rücksichten. Er will die vornehmeren Gesellschaftsklassen an den Markt und in die Nähe des Schlosses, und die weniger vornehmen in die äußeren Bezirke verwiesen sehen. Die einzelnen Gewerke werden zünftig geordnet und in sich geschlossen untergebracht, nur die Kaufleute über die ganze Stadt verteilt. Hierbei ist Dürer bemüht, den Handwerkern möglichst nahe an ihrer Arbeitsstelle Wohnung zu beschaffen. So wohnen beim Holzhof die verschiedenen Gewerke der Holzbearbeitung, unweit des Lebensmittelhauses die Gewerke der Lebensmittelbereitung, in den den Gießhütten benachbarten Gassen die Leute, „die zu den Hütten und ihren Werken dienstlich sind". Die Seiler ziehen nach

23) Vgl. Wätzoldt, Wilh., Dürers Befestigungslehre. Berlin 1916. — Stübben, Jos., Dürer als Städtebauer. Zentralblatt der Bauverwaltung, 1918.

24) Dürer setzt hinzu: „Wie dies aber meisterlich soll zugerichtet werden, ist den Künstlern wissent und darum auch nicht notwendig davon zu schreiben". Er stellt damit fest, daß eine derartige Wegeführung am Tor Allgemeingut der mittelalterlichen Befestigungsweise gewesen ist.

25) Bruno Taut, Die Stadtkrone. Jena 1919.

Block 42, damit sie es von ihren Wohnungen nicht weit zur Schütte haben, ihr Seil daselbst zu spinnen, die Wagner nach Block 36 „dort können sie ihre Hölzer und Stangen

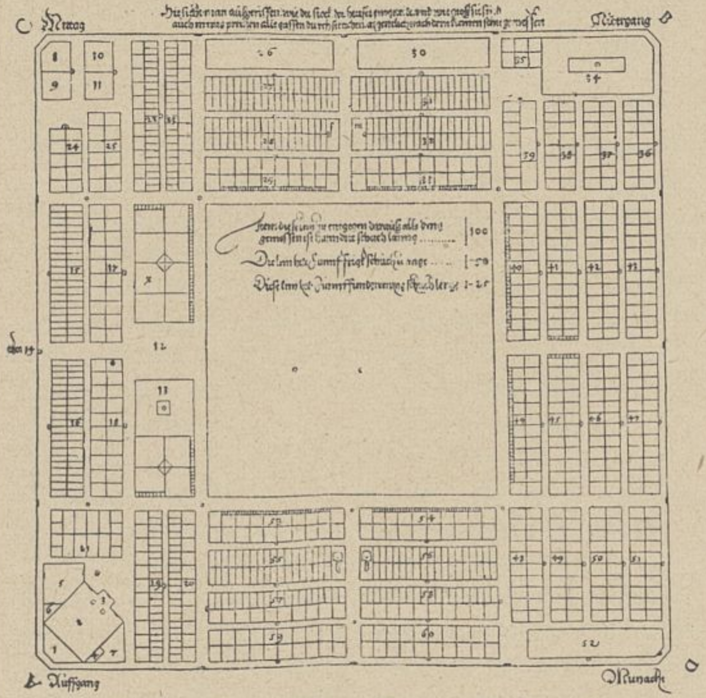


Abb. 6. Albrecht Dürer. Musterstadt, Grundriß.
(Vgl. S. 81, Zentralbl. d. Bauverw. 1918.)

an die Schütten legen". Bei diesen praktischen Erwägungen werden aber nicht nur die Bequemlichkeit des einzelnen bzw. der Zunft in Betracht gezogen, sondern auch die Bedürfnisse der Gesamtheit möglichst berücksichtigt. So soll man, wie Dürer sagt, „die Leute, derer man nötig bedarf, und die in ihrem Handel nicht größerer Häuser bedürfen", so verteilen, daß man sie leicht erreichen kann.

Die wichtigste Innenhandelsstraße ist die um das Schloßviereck „an des Königs Graben" entlang führende Laubenstraße. Hier sollen Läden, „Krämerlauben", eingerichtet und die reichsten Krämer, die Gold- und Silberhändler, die Spezerei-, Seide- und Tuchhändler angesiedelt, zwölf Weinschenken an den Ecken aller Blöcke, die nicht an den Markt stoßen, vorgesehen und eine „herrliche" Apotheke angelegt werden. Die anderen Krämer, die Gegenstände „von allerlei Gattung und weniger Pfennige Wert feil haben", sollen kleinere Läden an weniger bedeutungsvollen Orten erhalten, die „Barbiere" sollen über die ganze Stadt verteilt werden. Auch Filarete hatte Ähnliches empfohlen.

Auch Maßnahmen, die eine Fürsorge für die Gesundheit und das Leben der Bewohner verraten, lassen sich erkennen. So soll der Kirchhof nahe dem Gebirge gegen Osten angelegt werden, denn so würden die Westwinde, die zur feuchten Jahreszeit am meisten wehten, die üblen Gerüche von der Stadt hinwegtragen. Aus demselben Grunde werden die Gießhütten in die Nordecke des Stadtplanes verwiesen, damit die „giftigen Gerüche" von der Stadt und namentlich dem Königspalast ferngehalten werden. Die Häuser sollen von Stein erbaut werden, „auf daß der König und sein Volk desto sicherer vor Feuer sei". Brunnen sind reichlich in der Stadt vorgesehen, ihre Stellung hat Dürer durch Kreise im Grundplan angedeutet.

Von Einzelheiten sei noch erwähnt, daß Dürer die Kirche (1) so in die Ostecke des Stadtplanes (nach A) legt, daß der Chor (2) nach Osten gerichtet ist (Abb. 6). Der Turm (3) steht dem Chor gegenüber. Er überbaut das Kirchenportal. Die Sakristei soll bei (4), der Pfarrhof bei (5), ein kleines Pfarrgärtchen bei (6) und ein großer Pfarrgarten bei (7) liegen. Dürer meint mit Bezug auf die Lage der Pfarrerwohnung: „Also hat er (der Pfarrer) herrlich zu wohnen." Vor der Kirche verbleibt ein Dreiecksplatz. Vor dem gegen Nordosten gerichteten Tore der Schloßanlage liegt der Marktplatz (12), an ihm das Rathaus (13) mit Hof und Brunnen, aber ohne Krambuden im Erdgeschoß. Der an das Rathaus stoßende Häuserblock und der ihm gegenüberliegende (10) besitzen in der Mitte einen übereck gestellten viereckigen Hof, „der gibt ihnen (den Häusern) Lichts genug". Dürer bezeichnet die Häuser dieser Blöcke als Herrenhäuser, hier wohnen also wohl die Ratsfamilien, während die Blöcke 17 und 18 den Edelleuten, die Blöcke 15 und 16, die kleinere Häuser umfassen, den „Hauptleuten, Fähndrichen und den Fürnehmsten der Kriegsknecht, auf daß das Tor mit ihnen verwahret sei und sie allzeit zum Ausziehen gerüstet seien" zugewiesen ist. Die Blöcke 19, 20, 21 nächst der Kirche sollen den Leuten zugewiesen werden, „die mit ihrem Handel ein stilles Leben führen." An den den Gießhütten benachbarten Gassen sollen sich die Rotschmiede, Former, Drechsler und verwandte Handwerker ansiedeln (Blöcke 22, 23, 24, 25). Im Stadtteil CB liegen die großen Zeughäuser (26 u. 30), in denen sich auch Kellereien und Kornböden befinden sollen. Im Block 35 wohnen die Werkleute des Zeughauses. Inmitten der beim Holzhof (34) für die Holz- und Bauarbeiter vorgesehenen Baublöcke 27 bis 33 liegen das Männerbad (m) und das Frauenbad (f) sich gegenüber. In der vierten Ecke bei D liegt das Speisenvorratshaus. Die 16 Baublöcke zwischen Holzhof und Vorratshaus gehören den verschiedenen Handwerkergruppen. Wie vielgestaltig die Gewerke jener Zeit noch unterteilt waren, erfährt man aus der Dürerschen Blockverteilung.[26]) Stellt die Sonderheit des Handwerksbetriebes an den Bauplatz, an seine Größe oder Lage bestimmte Anforderungen, so werden diese beachtet; so sollen, wie bereits erwähnt, die Wagner in 36 am Wall wohnen, damit sie ihre Stangen gegen die innere Böschung des Walles legen können. Die Tischler kommen, weil sie für ihre Werkstätten größere Räumlichkeiten brauchen, in die großen Grundstücke des Blockes 39. Der Stadtteil DA gehört dem

26) Block 36 Wagner und Sattler,
„ 37 Zaum- und Panzermacher,
„ 38 Sporer und Waffenmacher,
„ 39 Schreiner und Holzdrechsler,
„ 40, 41 } Die Verteilung ist späterer königlicher Entschließung überlassen,
„ 42 Seiler und Schneider,
„ 43 Kürschner,
„ 44, 45 } wie 40 und 41.
„ 46 Leinenweber, Tuchwirker, Zeltmacher, Pfragner,
„ 47 Schuster und Lederarbeiter und gleichfalls Pfragner,
„ 48 Steinmetzen,
„ 49 Zinngießer, Geschmeidemacher, Nadler, Metallarbeiter, Goldschmiede, Maler, Bildhauer, Seidensticker,
„ 50 Schlosser, Renn- und Stechzeugmacher, Pfannschmiede, Kastler, Peckschlager,
„ 51 „Eytelplatner", Haubenschmiede.

Ernährungsgewerbe. Hier wohnen (55 u. 56) die Metzger, die ihre Bänke an den Schmalseiten ihrer Blöcke einander gegenüber anlegen. Hinter ihnen, in den Blöcken 57 u. 58 arbeiten die Bäcker, deren Brotbänke abseits ihrer Wohnung an den vom Markt abgewendeten Schmalseiten der Blöcke 10 u. 13 angelegt werden sollen. Für die Bierbrauer sind die am Walle gelegenen „Stöcke" 59 u. 60 bestimmt, die dort auch ihre Keller und Schankstätten haben, während ihre Brauhäuser innerhalb des äußersten Grabens im Winkel *D* liegen, wo sie auch ihre Fässer „ziehen" sollen.

Die meisten Blöcke sind 100 Schuh = 29,2 m tief und zweiseitig aufgeteilt. Die Grundstücke sind in der Mehrzahl quadratisch geschnitten, 50 Fuß = 14,6 m breit und tief und zum kleineren Teil halb so groß (7,3 m breit und 14,6 m tief). Sollte man mehr kleine Bauplätze als vorgesehen benötigen, so stellt Dürer die Hälftelung der größeren Plätze der Breite nach anheim. Nur bei den Patrizierhäusern sind die Bauplätze und damit auch die Blöcke reichlicher bemessen (Bauplätze 25,85 : 25,85). Die Blocklänge ist sehr verschieden, sie steigt bis zu rund 110 m. Die Breite der Straßen beträgt 50 Schuh = 14,60 m, die der Gassen 25 Schuh = 7,3 m. Der Markt ist 300 × 200 Schuh (= 27,60 : 58,40 m) groß. Während der Marktplatz nicht mit Lauben ausgestattet ist, ist die Hauptstraße an „des Königs Graben" als Lauben- und damit als Ladenstraße gebaut. Nur die Eckhäuser, die Weinschänken, haben keine Lauben im Erdgeschoß. Bei der Kleinheit der angenommenen Baublöcke kann Gartenland innerhalb derselben nicht zur Verfügung stehen, nur für den Pfarrer waren ein paar Gärtchen vorgesehen.

Dürer scheint ausschließlich mit sehr enger geschlossener Bauweise gerechnet zu haben. Allerdings ist die Art der Bebauung weder aus dem Plan noch aus dem Text mit Sicherheit zu entnehmen. Vielleicht ist auch die Bebauung der vorgesehenen Grundstücke von Dürer selbst nicht vollkommen überlegt. Er sagt zwar: „Diese Häuser sind in einem Schloß (in einer Festung), wo man nicht weite Plätze haben kann, (wo man nicht weiträumig wohnen kann) groß genug." Die Ausführungen zu den übereck gestellten Höfen in den Baublöcken am Markte machen aber doch nicht den Eindruck voller Klarheit.

Außerhalb der Stadt sollen die Werkstätten der Steinmetze, die Schleif- und Poliermühlen der Haubenschmiede und das Schlachthaus der Metzger liegen, dabei sollen die Mühlen und das Schlachthaus unterhalb der Stadt angelegt werden.

Die von Dürer entwickelten Grundsätze der Wohnungsfürsorge und des Städtebaues sind so schematisch aufgestellt, daß sie sich schon hierdurch als die theoretischen Forderungen der Dürerschen Zeit verraten. Bevor Forderungen jedoch in derartig programmatischer Form aufgestellt werden können, müssen sie eine längere Entwicklung bereits überstanden haben. Die Renaissance war zu Dürers Zeiten noch zu jung, um selbstschöpferisch ein derartiges Programm gestalten zu können. Wenn auch einerseits zugegeben werden kann, daß die Befestigungsgrundsätze, die Dürer entwickelt, und die Waetzoldt in der angezogenen Schrift eingehend würdigt, durchaus neu für seine Zeit waren, so muß doch anderseits behauptet werden, daß der Plan, den Dürer für die Stadt innerhalb dieser neuzeitlichen Befestigungswerke entwirft, nicht neuzeitlich ist, daß er vielmehr eines der wertvollsten Dokumente des spätmittelalterlichen Städtebaues darstellt, dessen Wesen und Ziele an der Hand dieser Musterstadt Dürers erst klar und verständlich werden.

Aber doch geben Filarete und Alberti für Italien und Dürer für Deutschland mit ihren Schriftwerken einen seltenen Einblick in die Geburtsstunden einer neuen Kunst. Alle drei sind in städtebaulicher Hinsicht noch Kinder des Mittelalters. Ihre Aufgabe war es, den Niedergang des mittelalterlichen Städtebaues aufzuhalten, damit die Möglichkeit zur Richtungsänderung nach aufwärts geschaffen werden konnte. Diese Aufgabe haben sie erfüllt. Es sind auch in Filaretes Gesamtstadtform, in Albertis ästhetischen Ausführungen und in Dürers Befestigungslehre bereits Wegweiser für Entwicklungsmöglichkeiten zu erkennen. Der Antrieb zum Vorwärtsschreiten in einer dieser Richtungen ist auch bereits aus Dürers Musterplan herauszufühlen; es ist der Wunsch, die Stadt so auszubauen, daß sie dem Angriff der neuzeitlichen Kriegsmaschinen zu widerstehen vermag. Daß dieser Antrieb mächtiger war als die zarten ästhetischen Anregungen Albertis kann nicht wundernehmen. Noch immer hatte die Stadt in erster Linie die Aufgabe, ihren Einwohnern ein vor feindlicher Bedrohung geschütztes Leben zu sichern. Dieser Aufgaben konnte sie aber nur gerecht werden, wenn sie ihre bauliche Gestaltung der durch Einführung der Pulvergeschütze ganz veränderten Sachlage anpaßte.

II. Die zweite Entwicklungsstufe.

Im Mittelalter war das Werden einer Stadt mit dem Ausbau ihrer Befestigung eng verknüpft, ihr Aufblühen von dem Glauben an ihre Uneinnehmbarkeit abhängig. Hieraus erklärt sich ja die Sorgfalt, die der mittelalterliche Städtebauer dem Ausbau der städtischen Befestigungswerke widmete. Als die Entwicklung der Kriegsmittel, insbesondere das Aufkommen der Feuerwaffen, den praktischen Nutzen der mittelalterlichen Wehrbauten in Frage stellte, versuchten zwar die im Mittelalter entstandenen und großgewordenen Städte sich den neuzeitlichen Kriegsforderungen anzupassen und durch bastionenartige Vorbauten vor ihren Toren der alten Stadtsiedlungsform ein Daseinsrecht zu sichern. Diese Verstärkungen der mittelalterlichen Stadtbefestigungen, diese Versuche, sie den Bedingungen des Artilleriekampfes anzupassen, konnten aber den Gang der Entwicklung nicht aufhalten. Der Artilleriekampf, der in der Kriegführung und damit in Angriff und Verteidigung zu einer völligen Umwertung der Begriffe führte, mußte auch für die Befestigung, für das Festungswerk von ausschlaggebendem Einfluß werden. Sehr bald kam man zu der Erkenntnis, daß die mittelalterlichen Befestigungswerke wertlos waren, ja daß mit ihrer Überholung durch den Gang der Entwicklung auch ein großer Teil der städtebaulichen Grundlagen erschüttert, ja untergraben war, auf dem bisher die Planung der Städte erfolgt war. Es galt, den neuen von Grund auf veränderten Verhältnissen gegenüber auch eine vollkommen neue Grundform für die Siedlung zu finden. Wie im Mittelalter die damalige auf den Nahkampf eingestellte Kriegstechnik für die Gestaltung der Stadtsiedlungsform von tiefgehendem Einfluß war, so wurde jetzt die neuartige, auf Fernwirkung

zugeschnittene artilleristische Kampfesart von grundlegender Bedeutung für Anlage und Aufbau der Stadt. Der Umschwung fand in der Zeit von etwa 1460 bis 1525 statt. Der Festungsbau stand im Mittelpunkt des Interesses. Der Festungsingenieur war der leitende Techniker. Die Bedeutung, die er selbst seiner eigenen Tätigkeit und seinen kriegstechnischen Erfahrungen zumaß, ist deutlich aus jenem berühmten Briefe Leonardo da Vincis aus dem Jahre 1485 an den Herzog Lodovico il Moro zu ersehen, in dem er diesem seine Dienste als Kriegsingenieur anbot.

Die einzelnen Abschnitte der Entwicklung der Kriegstechnik brauchen hier nicht verfolgt zu werden. Es interessiert aber der Punkt der Entwicklung, in der die Forderung aufgestellt wurde, daß auch der Städtebau die Anforderungen der Kriegstechnik als oberstes Gestaltungsgesetz anzuerkennen habe. Dieser Zeitpunkt ist für Italien mit Beginn des 16. Jahrhunderts erreicht. In erster Linie galt es einen den neuzeitlichen Anforderungen des Geschützkampfes gerecht werdenden Befestigungsring zu entwerfen und in diesen dann den Aufbauplan der Stadt so einzuzeichnen, wie es der Festungskommandant für die Sicherheit des Ortes, im Interesse einer schnellen Alarmbereitschaft der Besatzung und der Bürgerwehr, für geboten hielt.

Abb. 7. Francesco di Giorgio Martini. Musterplan einer befestigten Stadt. (Aus Trattato di architettura civile e militare. Torino 1841.)

Francesco di Giorgio Martini[27]), der sich wahrscheinlich seit 1476 in Urbino als Architekt und Ingenieur ausgebildet hatte, gibt in seinem um 1500 geschriebenen Trattato di architettura civile e militare das erste Werk, das den Festungsbau, wie er sich den Anforderungen des artilleristischen Angriffes anzupassen hat, erörtert und im Zusammenhang hiermit auch den bürgerlichen Städtebau behandelt. Martini ist von Alberti sichtlich beeinflußt, er will vor allem das mitteilen, was ihm bei Alberti zu fehlen scheint.

Im dritten Buche faßt Francesco seine Vorstellungen über die richtige Anlage einer Stadt in bestimmte Forderungen zusammen. Alle Teile der Stadt sollen so vernünftig geordnet sein, daß sie sich wie die Glieder des menschlichen Körpers entsprechen. In dieser Allgemeinforderung ist ein gewisser Fortschritt gegenüber der Vergangenheit zu erkennen. Die Stadt wird bereits als einheitlicher Organismus aufgefaßt. — Die Einzelforderungen[28]) sind trotzdem dieselben, die bereits Filarete vertrat, aber logischer aufgebaut und vor allem ausführungsreif in Musterentwürfen niedergelegt.

Das Planmuster Martinis, das hier abgebildet wird (Abb. 7), hat zur Grundform ein regelmäßiges Achteck. Das Straßengerüst besteht aus acht Strahlstraßen und drei Ringstraßen. Die Strahlstraßen laufen von der Umfassung nach der Stadtmitte, wo sie auf dem weit angelegten Hauptplatz zusammentreffen. Die drei Ringstraßen folgen der allgemeinen Stadtumrißlinie und zeigen nicht die bei Filarete vorhandene Kreislinie. Gegenüber Filaretes Vorschlag also ein sichtlicher Fortschritt.

Als nächster in der Reihenfolge der Theoretiker ist Pietro Cataneo zu nennen, der sich im Festungsbau in den Plätzen Orbitello, Talamone, Campagnatico und Capalbio betätigt hat. Er gab

27) Vgl. Stein a. a. O. und Eberstadt a. a. O.

28) Der größte und am reichsten geschmückte Platz der Stadt soll in ihrer Mitte liegen; kleinere Nebenplätze sind außerdem je nach der Größe des Stadtgebietes in verschiedener Zahl anzulegen. Am Hauptplatz sollen der Dom und das Rathaus angeordnet werden, gegenüber diesen die Halle für die Kaufleute, außerdem die Gebäude für die Behörden, das Gefängnis, Schenken und Bordelle. Die Pfarrkirchen sollen in den einzelnen Bezirken liegen, in denen je nach Bedarf auch noch weitere Hallen angeordnet werden können. Die verschiedenen Gewerbe sind so in der Stadt zu verteilen, daß schmucke Läden an dem Platz und in die Hauptverkehrsstraßen, unansehnliche Handwerke dagegen in die Außenbezirke der Stadt zu liegen kommen.

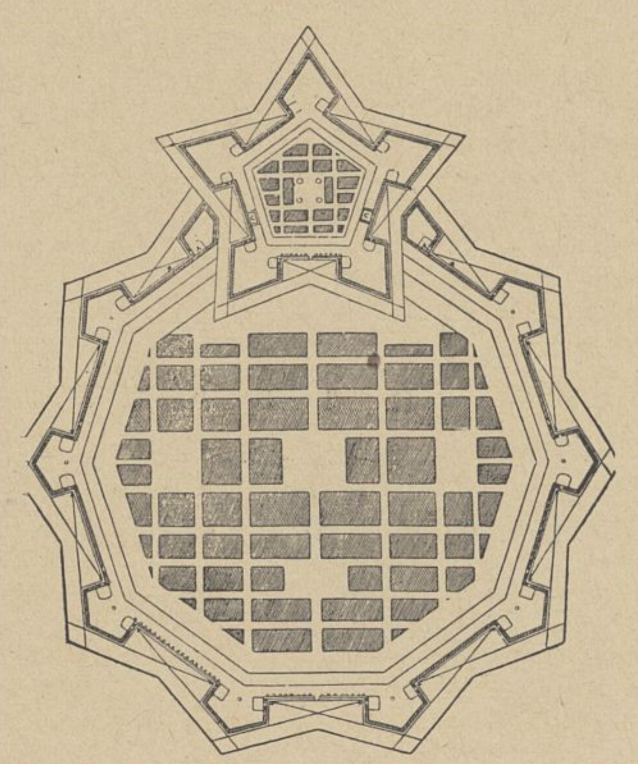


Abb. 8. Pietro Cataneo. Musterstadt.

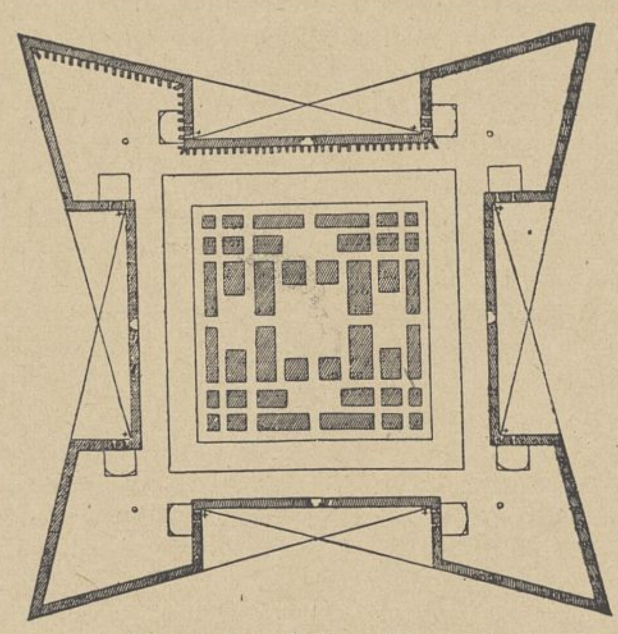


Abb. 9. Pietro Cataneo. Musterstadt.

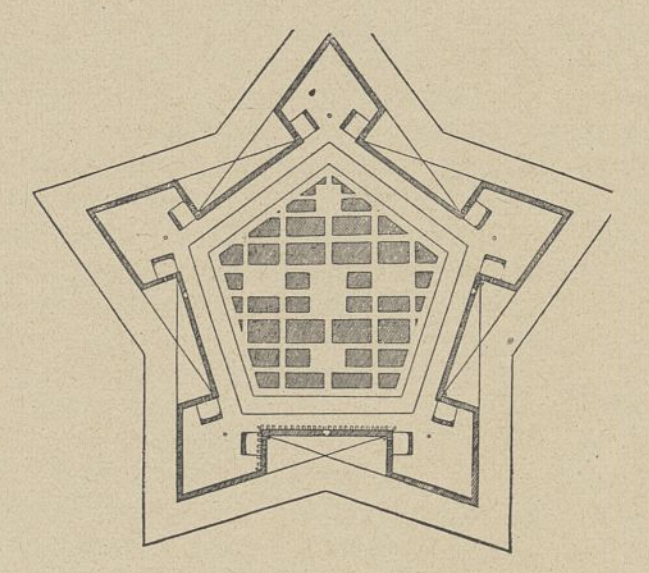


Abb. 10. Pietro Cataneo. Musterstadt.

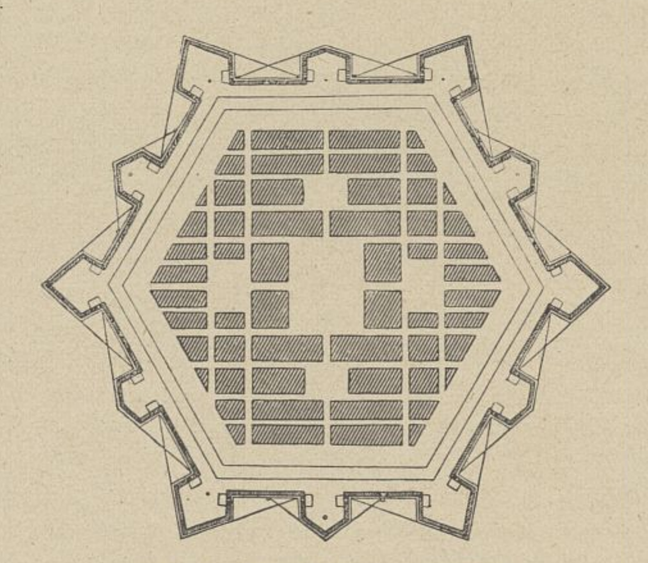


Abb. 11. Pietro Cataneo, Musterstadt.

die ersten vier Bücher seines Werkes[29]) 1554 heraus und ließ dieser Auflage 1567 eine zweite folgen, die gegenüber der ersten um vier Bücher vermehrt war. Er hat an alten Stadtanlagen vor allem auszusetzen, daß sie zumeist ohne einen vernünftigen einheitlichen Plan mehr zufällig entstanden sind, weshalb dann Plätze und wichtige Gebäude der Stadt häufig an den ungünstigsten Stellen lägen. Also auch hier der Wunsch, daß der Stadtplan als Ganzes einheitlich und vernünftig sein müsse. Bei der Neuanlage von Städten habe man fünf verschiedene Gesichtspunkte zu beachten: das Klima des Siedlungsgeländes, die Fruchtbarkeit und gute Verteidigungsmöglichkeit der Gegend, die Bequemlichkeit der künftigen Bewohner und die Weiträumigkeit des Ortes. Die Grundform der Städte solle da, wo die ebene Lage es erlaubt, am besten ein regelmäßiges Vieleck sein. Innerhalb des vieleckigen Ringes teilt Cataneo das ganze Gebiet in rechteckige Blöcke auf. In der Mitte ein großer Hauptplatz, in den Außenbezirken vier oder mehr kleinere Plätze. Ist die Stadt von einem Tyrannen beherrscht, so legt sich an eine ihrer Außenseiten die fürstliche Zitadelle an, welche gleich stark gegen die Stadt, wie gegen den äußeren Feind befestigt ist. Pietro Cataneo gibt in seinem Werke eine Reihenfolge von Musterplänen, die das Stadtschema von der viereckigen bis zu der zehneckigen Grundfigur abwandeln und für jede Größe eine im Schachbrettmuster angelegte Musterstadt zeigen. Die Abb. 8 bis 11 geben eine Auswahl aus diesen Plänen. Im Gegensatz zu Martinis Strahlenmuster hier überall rechteckige Baublöcke, die selbstverständlich eine einfachere Bauplatzgestaltung ermöglichten.

Die Bewegtheit des politischen Himmels, die großen und die kleinen Kriege, die das Europa des 16. Jahrhunderts in ständige immer neue Unruhen stürzten, trug dazu bei, daß überall mit Feuereifer die Neugestaltung der städtischen Befestigungswerke aufgenommen wurde. Wenn man den alten Merian durchblättert, gewinnt man eine Vorstellung von der Beschleunigung, mit der man unter dem Zwange des Selbsterhaltungstriebes überall die Ausführung neuzeitlicher Festungswerke betrieb. Häufig bildet Merian als Stadtgrundriß nur den nach neuzeitlichen Grundsätzen ausgeführten Befestigungskranz desselben ab, in den eine Einzeichnung des Straßenplanes unterblieb, ein deutliches Zeichen, daß den städtischen Festungswerken mehr Wert als dem Straßenplan beigemessen wurde. Wohl wurden auch bei Stadterweiterungen oder Neuanlagen einzelner Straßen die neuzeitlichen Anschauungen beachtet, aber die Ausführung ganzer Städte kam doch nur selten in Frage.

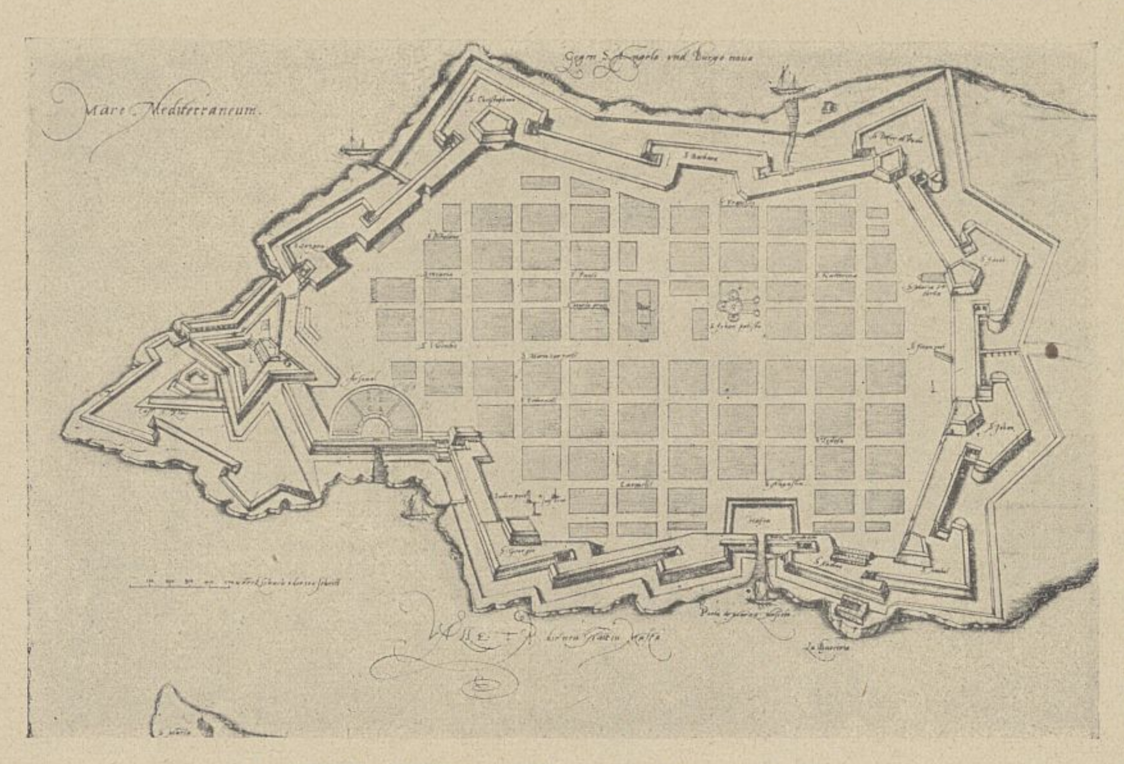


Abb. 12. Lavalletta auf Malta, Grundriß aus Speckle.

29) L'Architettura di Pietro Cataneo-Senese; vgl. Stein a. a. O.

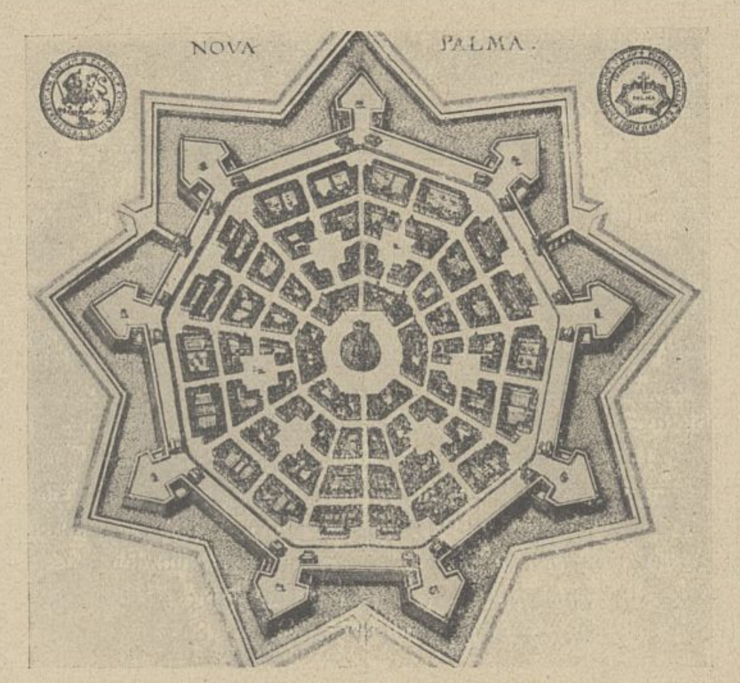


Abb. 13. Palma Nuova, Grundriß.

Als eine der ersten Siedlungen, die neu gebaut wurden, ist die Stadt Neu-Malta zu bezeichnen, zu der der Großmeister der Maltheser Lavallete 1566 den Grundstein legte und die nach ihm „Lavalleta" genannt wurde. Sie wurde im Schachbrettmuster angelegt (Abb. 12). Rühmend berichtet der deutsche Festungsbaumeister Speckle, über den noch zu sprechen sein wird, daß in Lavalletta „eine sehr schöne Strass" von der St. Georgs Pforte mitten durch die ganze Stadt bis zum Platz vor dem Kastell geführt sei, so daß man „mit grossen stucken" von hier bis zum Tor bzw. umgekehrt mitten durch die ganze Stadt schießen konnte. Danach habe man gleich lange und breite Gassen zu beiden Seiten und quer dazu (rautenweise) gezogen. Bei einer derartigen Anordnung könne man die ganze Stadt von allen Bollwerken, Wehren und Wällen kreuzweise bestreichen, so daß auf diese Weise auch dem bereits eingedrungenen Feinde von allen Seiten aus großer Schaden zugefügt werden könne. An anderer Stelle hebt Speckle hervor, daß „alle Häuser in derselben Flucht, keines für das andere", dazu fast alle in einer Höhe, mit Gärten versehen und alle von puren lautern Steinen und gewölbt ausgeführt seien. Alle Eckhäuser hätten starke, oben mit Steinen belegte Wohntürme; so daß man meint, selbst wenn ein Feind mit 50000 Mann in die Stadt eingedrungen sei, könne er doch nichts gewinnen, denn jeder Turm und jedes Haus könne sich von den oberen Plattformen und von den hierzu eingerichteten Fenstern aus mit Schießen und Werfen verteidigen.

Auch eine zentrale Stadtanlage gelangte in Italien zur Ausführung. Es ist die nach Merian im Jahre 1593 von den Venezianern begonnene und 1595 vollendete Festungsstadt Palma Nuova in der Provinz Udine (vgl. Abb. 13). Merian berichtet von ihr: „Die Stadt ist fein ordentlich und zirkelrund" erbaut, „und die Thor, Pasteyen, Gassen, Märkte, Brunnen, Häuser und Gärten alles fein artlich und gleich ausgeteilt". Auf dem Marktplatz steht ein starker fester Turm[30]), aus welchem man in alle neun Gassen und Bollwerk sehen und streifen kann. Als Grundzahl für die Planung von Palma Nuova wurde zu Ehren der neun venezianischen Adelsgeschlechter die Zahl 9 gewählt. Das Kreuz, aufwachsend aus dem durch neun Basteien geschützen Kranz mit der Umschrift „In hoc signo tuta" wurde das Wappenbild der Stadt. Die Teilungen und Verdoppelungen der Zahl 9 kehren im Stadtplan dauernd wieder. Drei Tore führen in die Stadt, sechs Strahlstraßen münden auf den sechsseitigen Hauptplatz, neben dem sechs Nebenplätze angeordnet sind. Zwölf Wallplätze sind vorhanden: je einer vor jeder Bastion und vor jedem Tor. 18 Strahlenstraßen teilen jeden der drei äußeren Ringe in 18 Baublöcke.

Beachtenswert ist die Gestaltung der sechs Nebenplätze, die von einer durchgehenden Verkehrsstraße nicht berührt werden. Ihre Grundform ist nicht gleichartig, ihre Wandungen sind nicht durchgängig geschlossen, es sind zum Teil Platzerweiterungen angegliedert. Am Mittelplatz wie an den Nebenplätzen sind sichtlich öffentliche Gebäude geplant, deren Verteilung an der Platzwandung nach einem bestimmten System vorgenommen zu sein scheint.

Wie sehr Rücksichten auf die Verteidigung bei allen diesen Planungen die Städtebauer geleitet haben, ist einwandfrei bei einem deutschen Theoretiker und Praktiker festzustellen.

Daniel Speckle, der Stadtbaumeister der schönen deutschen Stadt Straßburg, gibt, von glühender Vaterlandsliebe beseelt, 1589 ein Werk „Architectura von Festungen" heraus. Er selbst sagt in der Vorrede des Buches, daß die vornehmste Ursache, die ihn zur Veröffentlichung seines Werkes getrieben habe, der Wunsch gewesen sei, der deutschen Nation und Wissenschaft die Stellung und das Ansehen unter den übrigen Völkern zu sichern, die ihnen zukäme. Zwar versuchten die Italiener zu behaupten, daß die Deutschen ohne Sinn, Hirn und Vernunft und Kinder seien im Vergleich mit den Italienern, denen sie, da sie selbst nie etwas Neues hätten erfinden können, alles abgestohlen hätten. Dieser üblen Nachrede setzt Speckle sein Werk entgegen, das auf voller Kenntnis der italienischen Festungs- und Stadtbaukunst fußt, aber der seinen Zeitgenossen besonders wichtig erscheinenden Befestigungskunst neue Wege weist[31]) und mit sehr kräftiger Kritik den italienischen Ansichten zu Leibe geht. Speckles Werk ist deutsch geschrieben. Er sagt: „Ich habe soviel als möglich aller frembden Wörter mich entschlagen und (bin) allein bey unserer teutschen sprach gebliben auff dass ein jeder Teutscher (denen ichs auch zu ehren aufgenommen) verstehen könne."

Speckle verlangt, daß bei der Anlage einer Stadt in Rücksicht gezogen werden: die natürlichen Beschaffenheiten des Siedlungsgeländes und daß, wenn nicht besondere Umstände mitsprächen, die Neugründung einer Stadt nur auf günstigem Gelände erfolgen dürfe. Der Städtebauer muß, wie er sagt, betrachten: ob das Land gut, das Erdreich feist

30) Merian: Andere schreiben, daß es ein stattlicher Brunnen sei, „welcher Unrecht vor ein Thurm angesehen werde".

31) Zwar hat die vorliegende Arbeit nicht den Zweck, eine Entwicklungsgeschichte der Befestigungskunst zu geben; um aber die Stellung Speckles in dieser Entwicklungsgeschichte schärfer zu umreißen, sei J. G. Th. Graesse herangezogen, der in seinem Trésor des livres rares et précieux mit Bezug auf Speckle sagt: „C'est sûr, que le systéme du célèbre Vauban, par un honteux plagiat, est tiré de cet ouvrage-là."

und zur Nahrung des Menschen und Viehes bequem, ob gesunde Luft, milder Himmel, gutes Gelände, gesundes Holz, gutes Wasser vorhanden, ob die Umgegend weder sumpfig noch mosig sei, damit weder böse Luft oder Geruch entstehen und durch die Winde zur Stadt getrieben werden könnten. Der Städtebauer, der eine Stadt auf dem einmal gewählten Platz „richtig" erbauen will, müsse die Bautechnik als solche beherrschen, er soll gründliche Kenntnisse in allen in Frage kommenden Handwerken und „mechanischen Künsten" besitzen und gleichzeitig die Kriegskunst studiert haben, durch die die Dicke, Stärke und Breite des Baues bestimmt werde.

Die Stadt dürfe nicht zu eng und nicht zu groß gebaut werden. Man müsse von vornherein daran denken, daß die in der Stadt liegende Besatzung gemeinsam mit der Bürgerschaft die Stadt verteidigen müsse, die Länge des Stadtberinges müsse deswegen zur Zahl der zur Verteidigung in Frage kommenden Leute in einem richtigen Verhältnis [32]) stehen.

Die der Stadt zu gebende Umrißlinie sei nach kriegstechnischen Erwägungen zu wählen. Je mehr Ecken eine Festung habe um so stärker wäre sie. Eine dreieckige Grundform verwirft Speckle, viereckige Festungen seien früher hochgeachtet gewesen. Er selbst hält das Schloß zu Jülich, das Abb. 14 darstellt, für die beste derartige Festung in den ganzen Niederlanden. Als Beispiel für eine fünfeckige Anlage bringt Speckle das für den Herzog von Alba durch einen Italiener erbaute Kastell von Antwerpen (Antorff, Abb. 15). Für eine sechseckige Grundform macht Speckle selbst einen Entwurf (Abb. 16). Aber weit besser seien die acht- und mehreckigen Grundformen, wobei „die Bollwerk und Basteien ins Winkelmaß kämen." Eine achteckige Anlage zeigt Speckles Musterstadt (Abb. 18); ein Zehn-, Zwölf- und Sechzehneck als Stadtgrundform geben nach Speckles Vorschlag die Abb. 17.

Im 22. Kapitel seines Werkes geht Speckle auf die Gestaltungen der Innenstadt ein. Er meint, in einer neuen Stadt könne alles besser gemacht werden, wie in einer alten, in der man sich mit dem alten Bestande so abfinden müsse, daß Altes und Neues sich nicht gegenseitig störten. Die neuzeitlichen Planungsgrundsätze skizziert Speckle [33]) etwa folgendermaßen:

1. In kleineren Festungen, die in die Grundform von regelmäßigen 5-, 6-, 7-, 8- oder Mehrecken einzuzeichnen seien, führe man alle Gassen, Plätze und Stände „von der Mitten auss dem Centro durchauss".

32) Speckle rechnet für Festungen in gefährdeter Lage und in kriegerischen Zeiten, in denen eine doppelte Besetzung aller Posten nötig sei, auf den laufenden Schuh des Wallringes einen Mann (also auf 1 m rund vier Mann). Diese Zahl ermäßige sich aber in ruhigen Zeiten beträchtlich. Dann genüge für eine Festung von 8000 Schuh (= 2240 m) innerem Umfang eine Garde von 100 oder 200 Mann.

33) S. 58 a. a. O.

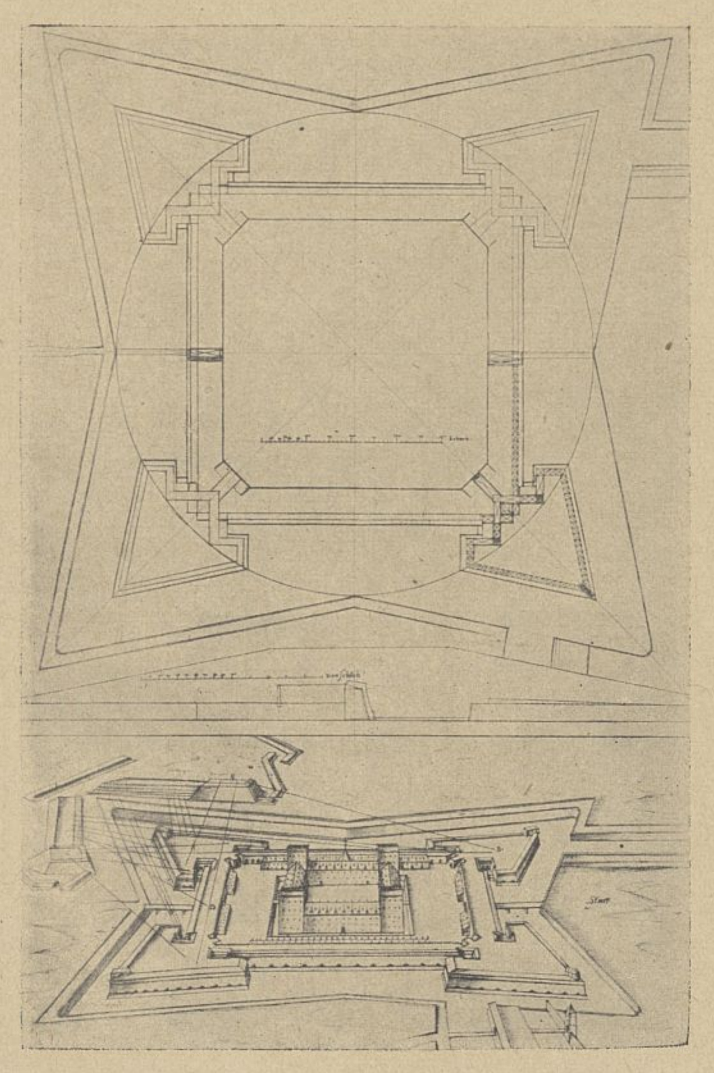


Abb. 14. Daniel Speckle. Schloßbau Jülich.

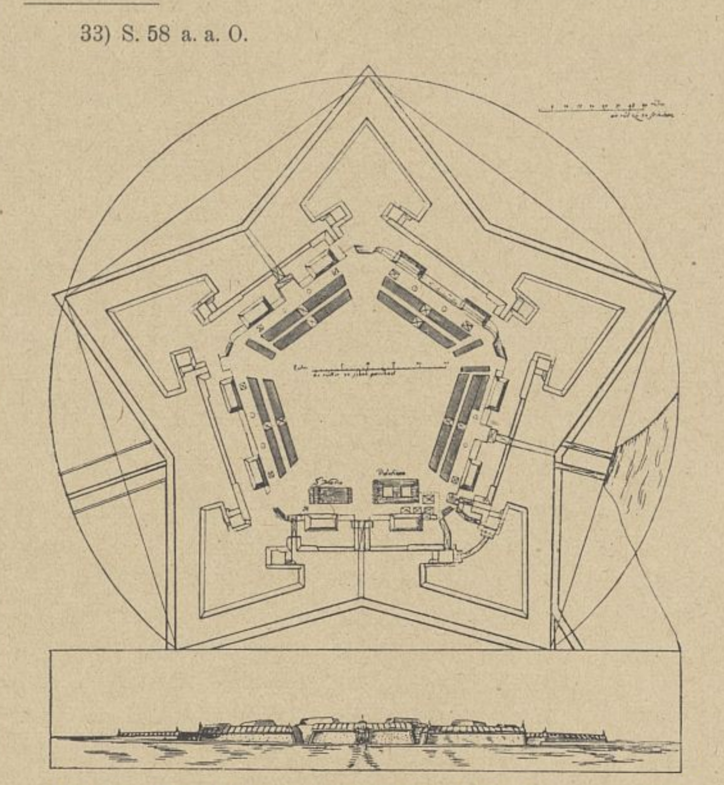


Abb. 15. Daniel Speckle. Stadtplan und Ansicht von Autorff.

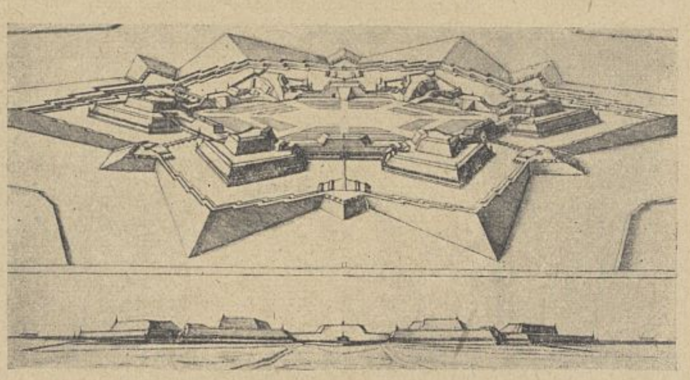


Abb. 16. Daniel Speckle. Musterstadt.

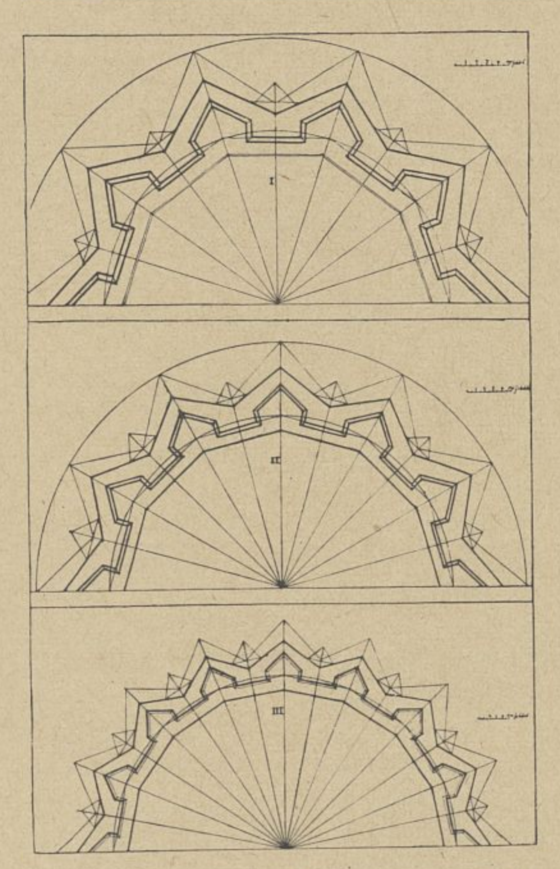


Abb. 17. Daniel Speckle. Muster für Stadtmauerkränze.

2. In größeren Festungen (die auch ein regelmäßiges Vieleck als Umrißlinie erhalten könnten) würden die Gassen und Stände senkrecht zueinander (rautenweise) nach den Wehren und Plätzen hingezogen.[34])
3. In länglichen Städten ziehe man die Straßen und Gassen „längs und quer“ in Richtung auf die Tore, Bollwerke, Plätze, wie dies in Lavalletta auf Malta zu sehen sei.
4. In Städten, die von einem Wasserlauf durchflossen seien, müsse man bei der Anordnung von Brücken, Toren, Ständen, Plätzen und Kirchen auch auf den Wasserlauf Rücksicht nehmen.

Im übrigen sollen bei einer Neuanlage Straßen, Plätze, ja die einzelnen Häuser dem großen Zweck der Stadtverteidigung dienstbar gemacht werden. So findet sich z. B. bei Besprechung[35]) der Stadt-Ein- und Ausgänge die Forderung: Kein Gebäude an einer Pforte soll aus der Linie des Walls oder der Mauer vortreten, damit es beim Bestreichen der Straße nicht hindert, ebensowenig darf ein Haus hinter die Flucht zurückspringen, damit nicht etwa hier ein unbestreichbarer Raum entstehe. Während bei Alberti aus ästhetischen Erwägungen die geradlinige Bauflucht empfohlen war, wird sie hier aus kriegstechnischen Gründen gefordert. Die Pforten müssen ebenso zur besseren staffelweisen Verteidigung[36]) zueinander versetzt angeordnet werden.

In Speckles Musterstadt (Abb. 18) sollen womöglich alle Häuser wenigstens in Keller- und Erdgeschoß aus Stein ausgeführt und die Keller gewölbt, die Häuser selbst in gleicher Flucht (Schnurebene) und Höhe ausgeführt und alle Dächer mit Ziegel und nicht mit Holz gedeckt werden. Die unteren Fenster sollen vergittert und mit starken Türen versehen und die Gassen gepflastert sein, damit man sich, falls der Feind in die Festung eingedrungen sei, aus allen Häusern mit Schießen und Werfen wehren könne. Neben der Berücksichtigung militärischer Gesichtspunkte sei aber bei Zeichnung des Straßenplanes alles so anzuordnen, daß alles recht gewendet „gegen und von den guten Winden, Sonn- und Luft“ zu liegen komme.

In Abb. 18 bezeichnen 1 die Kirche, deren Chor nach Osten gerichtet ist, 2 den Friedhof.[37]) Zu beiden Seiten der Kirche sollen die Priester und Kirchendiener wohnen, damit man sie in Zeiten der Not „mit Predigten, Sakramentreichen, Kindertaufen, Krankenbesuchen und in Sterbensnöten“ leicht finden kann. 3 ist das Haus des Fürsten und der Sitz seines Statthalters, 4 das Rathaus. Das Rathaus soll abseits von allem groben Handwerk liegen, „auf daß es allem Boßlen“, Klopfen, Schlagen und Fahren entlegen sei. In den anderen Häusern am Markt sollen die Rats- und Adelsfamilien wohnen. „Doch soll unten herum ausgenommen des Fürsten Palast und die Kirchen, eitel Kramm und Gewerbe sein.“ Am Markt könnten auch eine oder zwei Herbergen für vornehme Reisende vorgesehen werden. Auch Kaufleute, die mit „köstlichen Waren“ handeln, dürfen am Markte angesiedelt werden. Die Zahl 5 bezeichnet die Längs- und Quergassen. In ihnen sollen die Wohnungen der Bürger liegen, während das Kriegsvolk nach den Wällen hin und die Handwerker „nach Notturfft“ anzusiedeln seien. Der Landsknechte Quartier soll rings an die Bollwerke gelegt werden. Die Berittenen sollen ihre Stallungen im Norden und Osten der Siedlung erhalten, damit der Süd- und Westwind die Stalldünste von

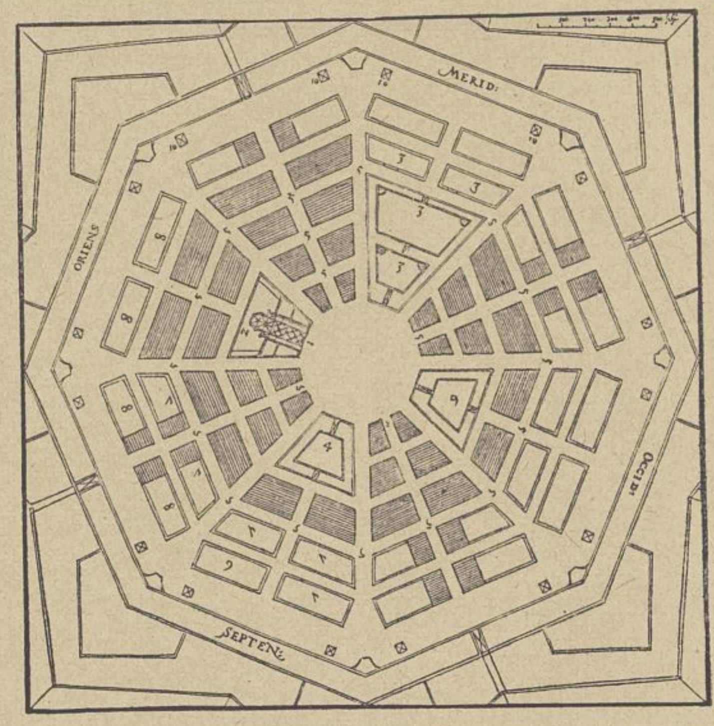


Abb. 18. Daniel Speckle. Musterstadt, Grundriß.

34) Beispiele für derartige Planmuster geben die Entwürfe von Pietro Cataneo (Abb. 8).

35) S. 96 a. a. O.

36) Wie auch bei Dürer siehe oben S. 611 und Fußnote 24.

37) Zu bestimmen, „ob die Toten in der Stadt oder vor den Toren zu begraben seien, und ob die Vornehmsten in der Kirche zu bestatten seien, sei Sache der Obrigkeit. Ebenso haben diese zu bestimmen, ob die „Hochgerichte“ in Friedenszeit vor den Toren, in Kriegszeit auf den Märkten aufzurichten seien“.

der Stadt abtreibe. Die Krankenhäuser dürfen ebensowenig in den südlichen und westlichen Teilen der Stadt liegen, da sonst die Übertragung der Krankheitskeime über die Stadt zu befürchten sei. Krankenwäsche dürfe auch nur unterhalb der Stadt im Flusse gewaschen werden. Bei 6 soll die Wage, das Kaufhaus, auch eine Herberge angeordnet werden; bei 7 Speicher, Korn- und Fruchthäuser. Auch große Scheunen für Holz und Kohle sind zu erbauen, aber aus Feuersicherheitsgründen weit getrennt voneinander. Hinter den Bollwerken sind Türme nicht höher als die Wälle anzuordnen, in einigen von diesen sind Handmühlen anzulegen, in anderen ist Pulver und Rohstoff für Munitionsherstellung zu lagern. Es herrschen also auch noch bei Speckle die bereits im Mittelalter erprobten Grundsätze für die Verteilung der verschiedenen Bevölkerungsklassen im Stadtinnern.

Mit der Verteilung der Hausstellen solle man beginnen, sobald Straßen, Markt, Kirche, Fürstenhaus und Rathaus und die übrigen dem öffentlichen Nutzen dienenden Anlagen abgefunden seien. Bei der Zuweisung der Hausstellen solle man den Charakter der betreffenden Straßen und die Stellung und das Handwerk des betreffenden Anwärters in Betracht ziehen. Ein Schmied oder ein Wagner könne z. B. nicht am Markte neben des Fürsten Palast, wohl aber an die Straßen nach dem Stadttor hin angesiedelt werden. Man müsse auch bedenken, daß bedeutendere Handelsherren größerer Grundfläche für ihre Niederlassung benötigen, als einfache Handwerker. Die Grundstücke seien natürlich auch verschieden im Preise zu bemessen, wobei wieder die Lage des Grundstückes und seine Größe zu berücksichtigen seien. Aus den hierbei einkommenden Mitteln sollen die Bau- und Unkosten der Gemeinde für „Rathaus, Zoll, Weg, Ungellt" bestritten werden, während der Fürst auf seine Kosten Zeughaus, Speicher, Scheunen, Türme, seinen Palast, die Kirche, ebenso der Soldaten Wohnungen zu erbauen habe.

Bemerkenswert ist die Bestimmung, daß in allen Gassen und zwar an den Eckhäusern Zugvorrichtungen angebracht werden sollen, damit man, falls es not tue, eine Kette querherüber ziehen könne. Innerhalb der so einen gesonderten Bezirk bildenden Straße soll ein Hauptmann wohnen, der die Aufsicht über die Straße, ihre Bewohner mit allem Gesinde führt, so daß sich Fremde nicht unbemerkt darin aufhalten können. Sobald dieser Hauptmann irgendwelchen Argwohn gegen irgend jemand hat, muß es dies bei seinem Eid anzeigen.[38])

Als Nachtbeleuchtung der Gassen soll entweder an den Kreuzungen eine Schwefelpfanne angeordnet werden, oder ein Laterne an quer über die Straße gezogenen starken Drähten aufgehängt werden. In jeder Gasse sollen hart an den Häusern zwei Brunnen angelegt werden, wobei es aber dem einzelnen Hausbesitzer freistehen soll, sich noch einen besonderen eigenen Brunnen bauen zu lassen.

Was den Feldbau außerhalb des Festungsringes anlangt, so soll der Fürst den Grund und Boden der Bürgerschaft zur Anlage von Gemüsegärten schenken, der im Kranz von 2000 oder 3000 Schuh Breite um die Stadt unter den Hausbesitzern durch Auslosung zu verteilen sei. In diesen Gärten wären starke Bäume, die einen Mann decken könnten, zu verbieten.

Die Gärten dürften verpachtet, aber nicht verkauft werden. Auf den Festungswerken und im Innern der Festung soll kein Bürger oder Kriegsmann Gärten anlegen oder Bäume pflanzen dürfen „in Hauss, Hof oder Gärtlein hatt es sein weg."

Die in den Abb. 19 u. 20 gegebenen Stadtgrundrisse entstammen gleichfalls dem Werke Speckles. Der Straßburger Meister nennt die dargestellten Orte selbst nicht bei Namen. Er sagt[39]) von der in Abb. 19a dargestellten Siedlung, daß er sie während der Ausführung in Italien besucht habe. Ihre Befestigungsanlage findet nicht seinen Beifall. Ebenso hat er an den Festungswerken der Stadt in Abb. 19b manches auszusetzen, besonders erwecken die allzu spitze Wehr bei *A* und die zu stumpfen Wehren bei *B* und *C* sein Mißfallen. Den Plan in Abb. 20 bringt Speckle als Beispiel dafür, wie eine alte Stadt zu einer neuen umgebaut und erweitert werden könne. Er sagt zwar, daß so „eine sehr gewaltige Festung" entstanden und bei der Ausführung „alles wohlbedacht" sei, ja daß sie der fürnehmsten eine „sei, die zu seinen Zeiten gebaut sei", trotzdem gäbe es eine ganze Reihe von Stellen, wo die Kritik einsetzen könne. Vielleicht wäre das darauf zurückzuführen, daß die Obrigkeiten und Kriegsleute dem Baumeister ins Handwerk gepfuscht hätten, wie es oft genug vorkomme. Speckles Kritik berührt allerdings auch hier nur die Befestigungsanlagen, so meint er z. B., man hätte die Eckbasteien an der Seite *A* besser etwas zurückziehen und der mittleren eine rechtwinklige Spitze geben können und dergleichen mehr. Der neue Teil der Stadtanlage ist in den regelmäßigen Stadtteilen um den Markt herum und in der Anlage der rechtwinklig viereckigen Vorstadt jenseit des Flusses deutlich zu erkennen.

Zwar berichtet Speckle, daß er bei einer großen Reihe von Festungsanlagen als Sachverständiger herangezogen sei, aber eine Andeutung darüber, daß er selbst eine Stadt gebaut habe, findet sich nicht. Immerhin kann auf die Städte des Hennegau Mariembourg und Philippeville hingewiesen werden, die aus gleichen Anschauungen heraus geschaffen worden sind (Abb. 21 u. 22). Diese beiden jetzt belgischen Städtchen berührte der Verfasser in den traurigen Tagen des Rückmarsches aus Frankreich im November 1918 mit seiner Truppe. Die Pläne sind in aller Eile, aber immerhin so genau wie möglich, nach Urzeichnungen aus Anfang und Mitte des vorigen Jahrhunderts, die die Verwaltungen der Städtchen in liebenswürdiger Weise aus den städtischen Archiven hervorzusuchen halfen, gezeichnet. Beide Städte liegen unweit der belgischen Landesgrenze nach Frankreich hin.

In der Kirche von Philippeville gibt ein eingemauerter Stein in eigenartigem Latein[40]) einige Aufschlüsse über die

---

38) Wir finden hier den Beweis, daß das Abschließen der Straßen gegeneinander aus inneren polizeilichen Gründen erwünscht schien (vgl. Siedler, Märkischer Städtebau im Mittelalter).

39) S. 18 a. a. O.

40) Der lateinische Text wurde wie folgt entziffert: „Anno achro nato MDLV Cal. Octob. Dn exercitus Carolus Imp. Aug. Giveti castrum construxisset atque postea his in locis bellum contra Gallos traheret huius urbis fundamenta quod felix faustumque sit ad reparationem Mariaeburgi paulo ante amissi iaci cepta administratione belgici ob senium et imbellicitatem cesserat nomen inditum simul et hec ecclesia anni sequenti constructa et in quarum rerum memo-

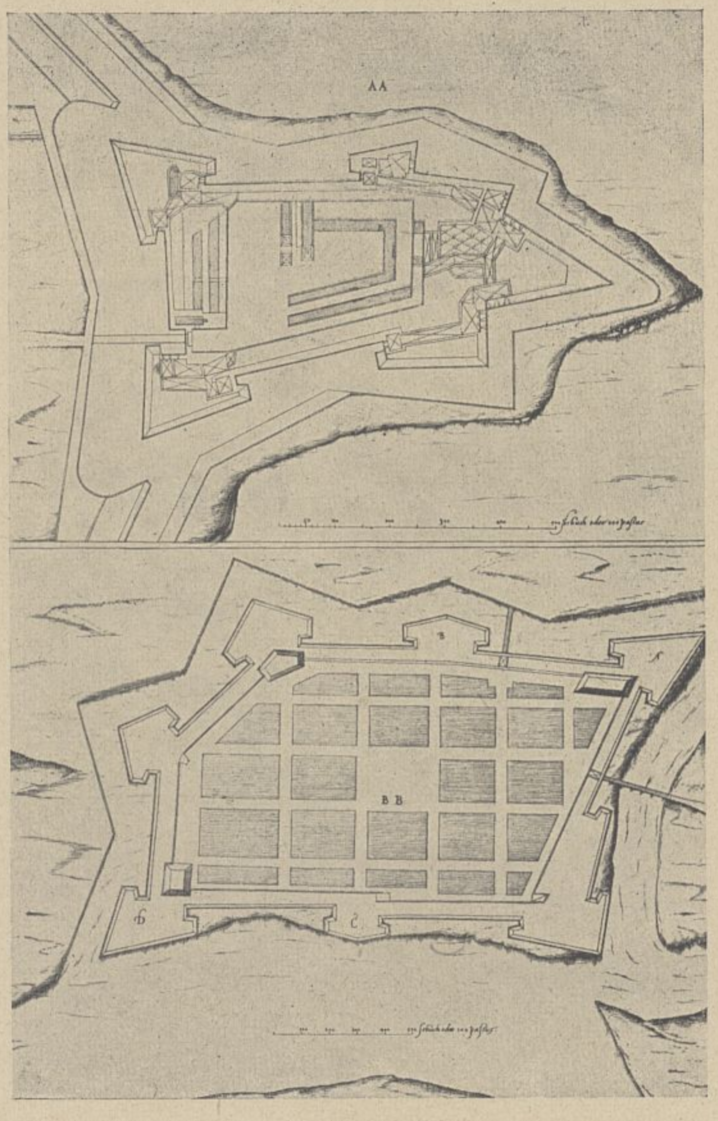


Abb. 19a u. b. Stadtpläne aus Speckle.

Entstehung beider Städte. Die Inschrift hat in freier Übersetzung folgenden Wortlaut:

„Nachdem erst das Kaiserliche Heer das feste Lager von Givet erbaut hatte, gründete es, als sich der Krieg gegen Frankreich mehr in diese Gegenden zog, am 1. Oktober 1555 nach Christi Geburt — was glückverheißend sei — diese Stadt (Philippeville) als Ersatz für Mariembourg, das kurz vorher wegen seiner Baufälligkeit und militärischen Bedeutungslosigkeit aufgegeben und unter belgische Oberhoheit gekommen war. Man legte der Stadt den Namen Philippeville bei und baute im nächsten Jahre diese Kirche. Zum Gedächtnis dessen hat Herr Lazarus v. Swendi, Kaiserlicher Rat und Oberbefehlshaber der deutschen Besatzungstruppen und erster Bürgermeister dieses Ortes, diesen Stein anbringen lassen."

Der in der Steinurkunde erwähnte Feldzug ist der spanisch-französische (1552 bis 1559) Krieg. Wir erfahren also, daß das spanische Heer, das wohl in der Hauptsache aus Deutschen und Niederländern bestanden haben wird, drei feste Plätze in dieser Gegend anlegte und zwar einmal einen festen Platz bei Givet, mit dem die Zitadelle von Givet „Charlemont"[41]) gemeint sein wird, weiter „Mariembourg"[42]) und als dritten „Philippeville".[43])

Die Eile des Rückmarsches hat es dem Verfasser nicht gestattet, an Ort und Stelle noch besondere Forschungen über die Entstehungsgeschichte dieser Städte zu machen. Es war leider auch nicht möglich, die wertvolle Nachricht der

riam Lazarus de Swendi eques Caes Maiest a cons qui primus praesidium germanorum militum induxit atque urbi praefuit saxum hoc boni ius sit."

41) Nach Merian Topographie Circuli Burgundici, Frankfurt a. M. 1654, S. 213, ist allerdings Charlemont erst 1555 gegründet.

42) Nach Merian ist Mariembourg 1542 gegründet, 1554 von den Franzosen erobert, „mehr aus Zagheit der Besatzung, als durch Gewalt", 1559 fiel der Ort bei Friedensschluß wieder an Spanien.

43) In den Namen dieser drei Orte sind drei Persönlichkeiten verewigt, die damals für diese Gegend im Mittelpunkt des Interesses standen. Wenige Tage nach dem als Geburtsdatum von Philippeville (1. Oktober 1555) angegebenen Datum traten in Brüssel am 25. Oktober 1555 die Großen des Landes zusammen, um Zeuge zu sein, wie Maria, die verwitwete Königin von Ungarn, die Schwester Karls V., des Kaisers von Deutschland, die Würde der Statthalterschaft der Niederlande ihrem Kaiserlichen Bruder zurückgab, der dann feierlich die gesamten Niederlande seinem Sohne, dem späteren Kaiser Philipp II., abtrat. In den bei den Gründungen gewählten Ortsnamen sind diese drei Mitglieder des Kaiserl. Hauses verewigt. In Charlemont: Karl V., in Mariembourg: Maria, die Schwester des Kaisers und Statthalterin der Niederlande, und in Philippeville: Philipp II, Sohn und Erbe des Kaisers.

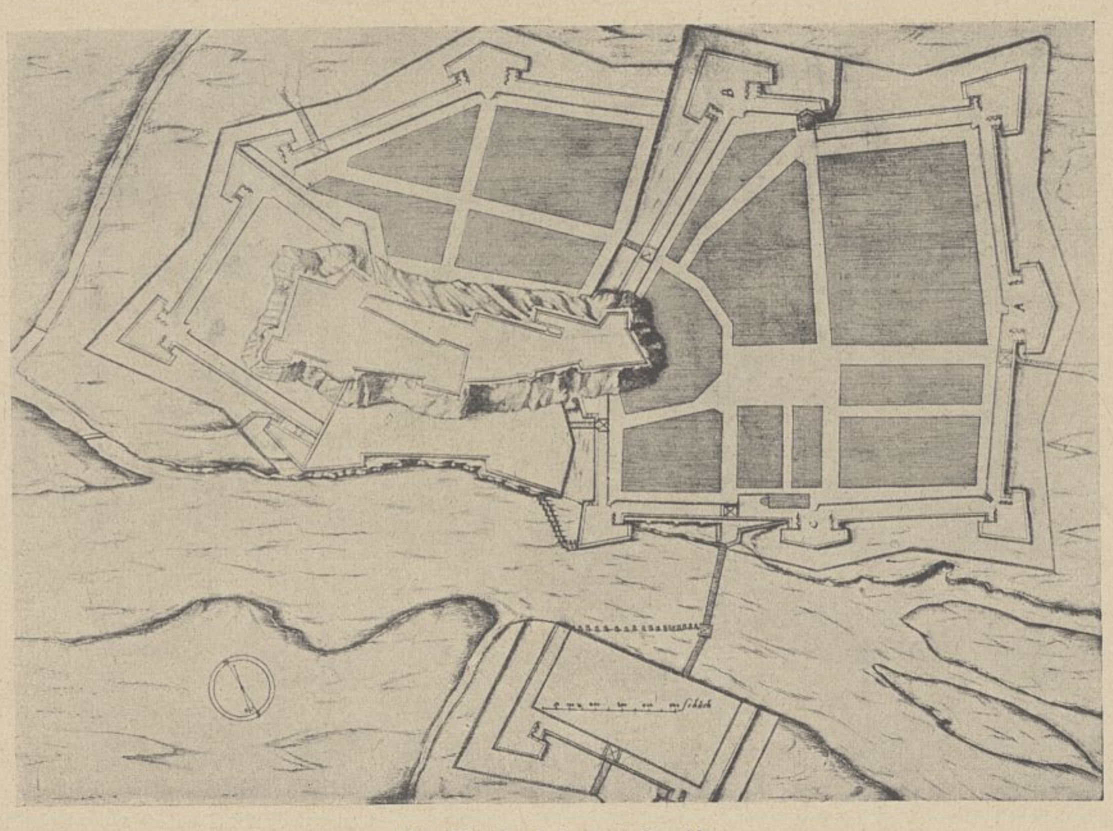


Abb. 20. Stadtplan aus Speckle.

steineren Urkunde, daß der Oberbefehlshaber der deutschen Besatzungstruppen Lazarus v. Swendi der erste Bürgermeister des Ortes Philippeville wurde, nachzugehen, oder Nachrichten darüber zu erhalten, ob man in diesem Städtchen etwa deutsche Kriegersiedlungen der Renaissance sehen könne. Dafür gibt aber Daniel Speckle einige nicht unwichtige Nachrichten über diesen ersten Bürgermeister von Philippeville. Er bezeichnet „Lazarus von Schwendi" als seinen Lehrer. Bei der von ihm aufgestellten Forderung, daß ein Baumeister „die jetzt im schwank gehende Kriegsrüstung, -übung und Geschütz" verstehen müsse, wenn man auch nicht verlangen könne, daß er gleichzeitig „ein Obrister oder Hauptmann" sei, führt er aus, daß er selbst von Lazarus von Schwendi „viele gute herrliche Ratschläg gehört habe". An einer anderen Stelle sagt er: „Wie dann wolgemelter Herr von Schwendi nit allein inn Kriegen und Belägerungen der Baumeister Ratschläg angehöret, sondern auch zu fridszeiten stettig mit dergleichen kündigen Personen conferieret, was sie fürbracht beratschlagt, auch ihre Visierungen darüber angefordert sodaß er in so hohen und großen verstand geraten." Wir haben also in Lazarus von Schwendi einen Lehrer Speckles vor uns, von dem dieser nur mit größter Achtung spricht. Die Pläne von Mariembourg und Philippeville gehören daher durchaus hierher.

Die Zitadelle von Givet „Charlemont" liegt auf einem Granitfelsen hoch über der Stadt Givet, dessen ganze Kuppe sie einnimmt. Naturgemäß konnte sich hier auf dem beschränkten Bauplatz



Abb. 21. Mariembourg (Hennegau).



Abb. 22. Philippeville (Hennegau).

kein nach dem Musterplan der Renaissance gezogener Bebauungsplan entwickeln. Vergleicht man die Grundrisse der beiden anderen Städte Mariembourg und Philippeville jedoch mit den aufgeteilten Musterplänen der Renaissance, so wird die Gleichartigkeit der Gesamtauffassung sinnenfällig.

Die alte Umrißlinie ist nach Beseitigung der Befestigungswerke verschwunden, sie schimmert aber noch durch die Zeichnung der Flurgrenzen und Wegeführungen hindurch. Wird sie erneuert, so erscheinen beide Orte wie sternförmige große Feldlager. Mariembourg, das keine architektonisch bedeutsameren Gebäude enthält, macht noch heute den Eindruck einer Lagerstadt. Philippeville hat dagegen gewisse architektonische Reize. Am Markte liegt das mit Hallen im Erdgeschoß ausgezeichnete Rathaus uud andere Gebäude, die eine gewisse Stattlichkeit auszeichnet.

III. Die dritte Entwicklungsstufe.

Die Festungsbauer beherrschen fast noch das ganze 16. Jahrhundert den Städtebau. Nur einzelne Persönlichkeiten beginnen zu erkennen, daß eine Stadt nicht nur eine kriegstechnische Anlage, sondern auch ein künstlerisches Werk sein müsse. Der wichtigste Vertreter dieser Ansicht ist Andrea Palladio, dessen 1570 erschienenes Lehrbuch der Architektur weit vorauseilend seiner Zeit dieser Ansicht einen klaren Ausdruck gibt. Die Darlegungen Palladios schließen sich eng an die Albertis an. Es kommt ihm wohl in erster Linie darauf an, die Hauptpunkte der Theorien und ihr Ergebnis zu unterstreichen. Es ist interessant, festzustellen, daß Palladio die Untersuchungen Albertis über mittelalterlichen Städtebau sichtlich für belanglos hält und nicht wieder erwähnt, während er das, was Alberti als neue eigene Anregungen gab, herauszuheben und zu ergänzen sucht. Dadurch rundet er den bei Alberti begonnenen Gedankenschwung zum geschlossenen Kreis, zu klarer Lehre.

Die Hauptverkehrs- und Geschäftsstraße der Stadt, sagt Palladio, soll breit und mit stattlichen Gebäuden geschmückt sein, denn hierdurch werden die Reisenden eine bedeutendere Vorstellung von der Stadt empfangen und häufig glauben, daß auch die übrigen Teile der Stadt von gleicher Schönheit seien. Die Hauptstraßen sollen innerhalb der Stadt zielgerecht verlaufen und von den Stadttoren in gerader Linie, von Arkadengängen begleitet, nach dem Hauptplatz führen, sie können dabei von mehreren kleinen Plätzen unterbrochen werden, jenseit des Hauptplatzes sollen sie tunlichst in geradem Zuge bis nach dem entgegengesetzten Tor weiterführen. Im übrigen sollen bedeutende Straßen nicht allein nach dem Hauptplatz, sondern auch nach hervorragenden Bauwerken gerichtet werden. Die öffentlichen Plätze müssen wie die inneren Räume bestimmte Verhältnisse haben und sollen von Säulengängen umgeben sein. Die Ausmündungen der Straßen nach dem Hauptplatz werden mit Vorteil durch Triumphbögen geschmückt. Am Hauptplatz der Stadt müssen auch die wichtigsten Gebäude stehen, der fürstliche Palast, das Rathaus, die Münze, das Schatzhaus und die Gefängnisse. Damit sagt Palladio: die Stadt soll aus einem Guß sein, sie soll einen einheitlichen künstlerischen Gesamteindruck gewähren. Sie wird dies können, wenn sie als Ganzes und in ihren Teilen nach den künstlerischen Grundgesetzen gebildet ist.

Wir haben damit den ersten klaren Hinweis auf den künstlerischen Städtebau. Allerdings ist dieser Hinweis von den Zeitgenossen Palladios nicht etwa mit der Begeisterung aufgenommen, daß nunmehr sofort eine Zeit des künstlerischen Städtebaues eingesetzt hätte; aber Palladios Lehren beginnen doch allmählich zu wirken und eine neue Zeit vorzubereiten. Aus dem von Brinkmann (Platz und Monument, Berlin 1908) veröffentlichten Musterstadtplan von Vasari (Abb. 23) gewinnt man den Eindruck, daß auch er die künstlerische Aufgabe im Stadtbau an erste Stelle rückt. 1615 mußte allerdings noch Scamozzi daran erinnern, daß eine Stadt ein künstlerisches Werk und nicht allein eine reine militärische Anlage sei. Im übrigen zeigt Scamozzi in seinem 1615 erschienenen Werke „L'Idea della architettura universale“ einen Musterplan, der in Abb. 24 zur Darstellung gebracht ist. Auch hier ein Hauptplatz und vier Nebenplätze. Am Hauptplatz, einen ganzen Block einnehmend, der Fürstenpalast mit großem Innenhof, außerdem die wichtigsten übrigen öffentlichen Gebäude. Die Verteilung der Wohnquartiere ähnlich den bisherigen Gepflogenheiten. Zur Stadt führen sechs Landstraßen und vier Kanäle, die miteinander durch einen die Stadt durchschneidenden und sie dabei in zwei ungleiche Hälften teilenden Kanal verbunden sind.

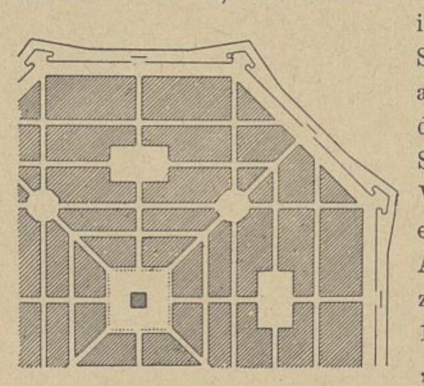


Abb. 23. Vasari il Giovane. Idealer Stadtplan (Florenz, Uffizien).
(Aus A. E. Brinckmann: Platz und Monument, Berlin 1908.)

Die allmähliche Wandlung, die sich in den Grundanschauungen des Städtebaues vollzieht, kommt bei den Städteausführungen dieser Jahre bald stärker, bald weniger stark zum Ausdruck.

Höchstwahrscheinlich auf italienische Städtebauer gehen einige holländische Städte zurück. Willemstadt (Abb. 25) in Holland gründete der Prinz Wilhelm von Oranien 1583. Der Erbauer scheint die allgemein ästhetischen Stadtbaugesetze Albertis wohl gekannt zu haben. Der Festungskranz wird durch sieben Bastionen — entsprechend den sieben Provinzen der vereinigten Niederlande — gebildet. Von dem in den Festungskranz einbezogenen Hafen führen Kanäle durch die ganze Stadt. Der Markt, als breite Straße gebildet, verbindet ganz nach Albertis Ansichten den mit Magazinen umbauten Hafen mit der Stadtmitte. Diese erhält ihre architektonische Betonung durch eine als Zentralbau ausgeführte Kirche, die auf einen weiten, vom Kanal umflossenen und von allem Lärm und allem Hasten getrennten Platz verwiesen ist. Der die Stadt querende Landverkehr fließt am Hafen und an den dort befindlichen Zollgebäuden vorbei.

Die gleiche Anordnung findet sich in der Festungsstadt Coevorden, die nach ihrer Niederbrennung durch die Spanier in den Jahren 1597 bis 1607 durch Graf Wilhelm Ludwig nach dem neuen Befestigungs- und Städtebausystem erbaut wurde. Der Befestigungsring besteht aus sieben vorspringenden Bastionen, während der Stadtplan die halbe Strahlenfigur zeigt. Fast genau denselben Grundriß zeigt eine in der Provinz Brüssel liegende belgische Stadt, die flamisch Scherpenheuvel

(Abb. 27) und französisch Montaigu genannt wird, deren Hauptkirche Notre Dame 1609 nach Plänen W. Coebergers von den Regenten Albrecht und Isabella errichtet worden ist. Die symbolische Siebenzahl kehrt wieder[44]) in der Stadtbefestigung von Deventer, in der Umwallung von Enkhuizen vom Jahre 1590 und in der Umwallung von Leiden bei der Stadterweiterung von 1610.

Vielleicht nicht auf gleicher Höhe künstlerischen Wertes stehen einige deutsche Stadtgründungen. Die 1599 von vertriebenen Protestanten aus dem Salzburgischen gegründete und von Schickhardt entworfene Stadt Freudenstadt (Abb. 26) im Schwarzwald bringt den Musterplan Albrecht Dürers teilweise zur Verwirklichung. Der große Freiraum inmitten der Gesamtanlage war ursprünglich für eine über Eck gestellte Schloßanlage vorgesehen, deren Basteien die Straßenzüge des Ortes beherrschten. Städtebaulich beachtenswert ist es, daß die öffentlichen Gebäude in die Ecken des Schloßberinges verwiesen wurden, mit der Aufgabe, die Ecke selbst zu

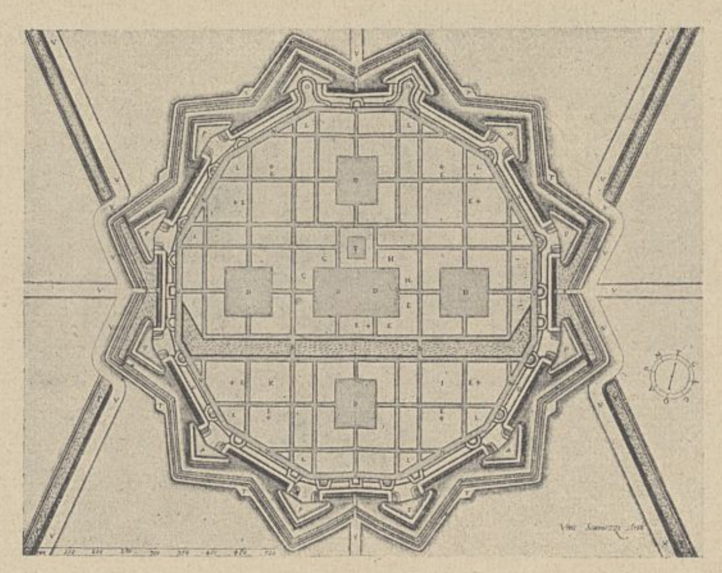


Abb. 24. Scamozzi. Musterstadt.

schließen. Die Baublöcke sind hier nur ein Grundstück tief. — Weiter verdient noch die erste Anlage von Mannheim der Erwähnung, die in ihrem Grundplan (Abb. 28) sichtlich an den Musterplan von Cataneo (Abb. 8) erinnert. Kurfürst Friedrich IV. von der Pfalz legte 1606 den Grund zu den Festungswerken von Mannheim, der Friedrichsburg, und gab dem Ort 1607 Stadtrechte. Diese erste Anlage von Mannheim, wie sie die Abbildung zeigt, wurde durch den Dreißigjährigen Krieg, dann aber vor allem 1688/89 durch die Franzosen unter Vauban fast gänzlich vernichtet und seit 1699 wieder aufgebaut.

Furttenbach. Aber diese tatsächlichen Ausführungen geben nicht so sichere Aufschlüsse über die städtebaulichen Ansichten, die im Beginn des 17. Jahrhunderts in Deutschland herrschten, wie sie die hinterlassenen Schriften der Theoretiker jener Zeit, in erster Linie Joseph Furttenbachs[46]), des Stadtbaumeisters von Ulm, zu vermitteln vermögen. Wenn seine städtebauliche Arbeit „Gewerbstattgebäuw" auch erst 1650 von seinem Sohne herausgegeben ist, so ist sie doch in ihren sachlichen Ausführungen ein Niederschlag der Ansichten des Vaters etwa beim Ausbruch des Dreißigjährigen Krieges.[47]) In der Vorrede seiner Schrift „Gewerbe-

44) Vgl. Eberstadt in Kunst und Künstler 1916.

45) Aus Handbuch der Architektur: Stübben, Städtebau.

46) Furttenbach ist am 30. Dezember 1591 zu Leutkirch geboren. Im Alter von 14 Jahren nach Italien geschickt, war er zwei Jahre in Mailand, dann sieben Jahre in Genua und schließlich noch ein Jahr in Florenz tätig. 1620 kam er nach Leutkirch zurück. Gegen 1622 nach Ulm berufen, wurde er 1631 ulmischer Stadtbaumeister Er starb am 17. Januar 1667. Näheres siehe Curt Habicht, „Die deutschen Architekturtheoretiker des 16. und 17. Jahrhunderts." Zeitschrift für Architektur und Ingenieurwesen des Architekten- und Ingenieurvereins zu Hannover, Jahrg. 1916, Heft 1 u. ff.

47) Habicht weist darauf hin, daß der Vater Furttenbach auch der Verfasser der übrigen vom Sohne herausgegebenen Schriften sei. Im vorliegenden Falle ist der Vater jedenfalls der geistige Urheber der Arbeit. In der Vorrede der Schrift sagt der jüngere Furttenbach auch selbst, daß sein Vater mit ihm „einen Discurs über

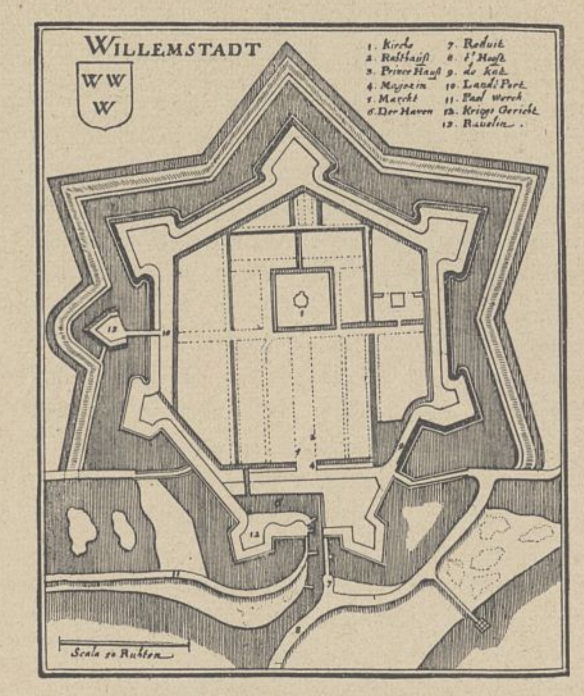


Abb. 25. Willemstadt, Stadtplan.



Abb. 26. Freudenstadt i. W. 1 : 10000.[45])

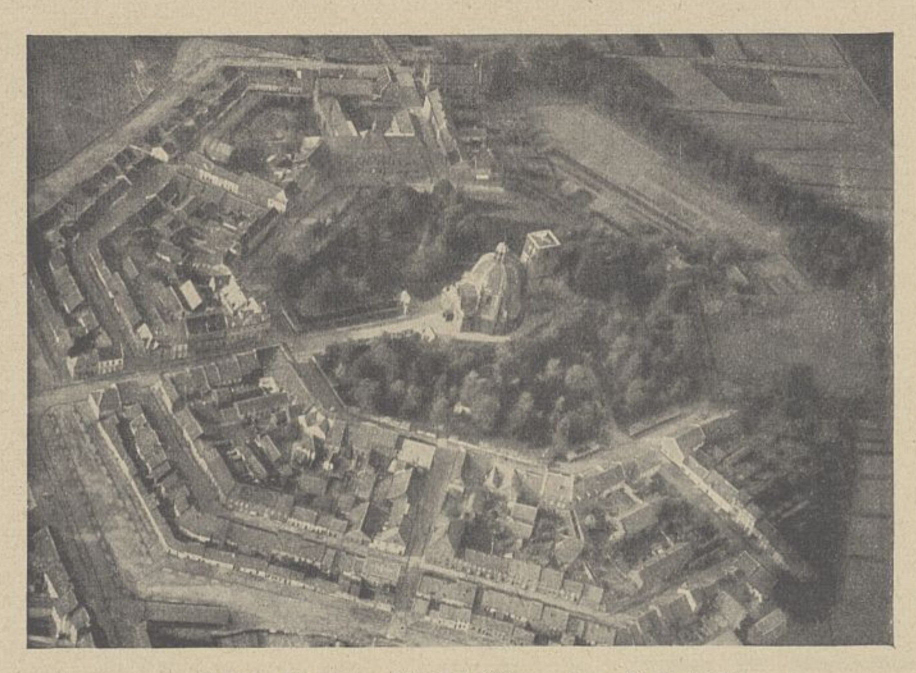


Abb. 27. Montaigu (flämisch Scherpenheuvel), Luftbild.

Stattgebäuw“ meint Furttenbach, daß während des Dreißigjährigen Krieges ganze Städte „mit dem groben Geschütz gequetscht, zerfellt, niedergerissen, geschleifft auch durch Einwerfung der Feuerballen gar in Asche gelegt“ worden seien. Ihr Wiederaufbau dürfe nur — wenn die Baukosten nicht vergeblich aufgewendet werden sollen — „mit höchstem Verstand und tiefster deß Menschen sinnlichkeit“, also nach sorgsamster Überlegung erfolgen.

Man müsse zuerst „weitaussehende Gebäude“, wie die Kirchen, mit großer Vorsichtigkeit anordnen und am besten auf einen hohen wohlgelegenen Ort stellen; danach seien die Befestigungsanlagen auszuführen. Sodann seien die „bequemen wol aufeinander correspondirenden Straßen, Gassen, Kanäle und Brunnen, nach unfehlbarer planimetrischer art abzuschnüren“. An ihnen seien die öffentlichen und privaten Gebäude (civilische und principal Machinae) anzuordnen. Alle „zu des Menschen Beschützung und zu seiner Leibesgesundheit“ dienenden Gebäude seien nach Gelegenheit und Vermögen des Beutels mit aller nur möglichen Bequemlichkeit auszuführen. In ihnen könne „alsdann der mühesame Mensch sein noch übriges Lebenslauff mit gutem Lieb vollenden“; die „Posterität“ aber werde für eine derartige Ausführung den Vorfahren Dank wissen und infolgedessen „umsomehr Lust und Liebe zu ihrem patria tragen“ und für des Vaterlandes Wohl auch gerne Hab und Gut, Leib und Leben einsetzen.

Die Musterstadt Furttenbachs soll keine Ackerbürgerstadt, sondern eine Siedlung von Handel- und Gewerbetreibenden sein. — Es empfehle sich nicht, Bürger und Bauer in einer Siedlung zu vermengen. Landwirtschaftliche Innenbetriebe würden den Unrat in der Stadt und damit die Gefahren für die Volksgesundheit vergrößern. Der durch den landwirtschaftlichen Betrieb bedingte größere Fuhrwerksverkehr zerstöre frühzeitig die Straßen und verursache hohe Unterhaltungskosten derselben. Die Stroh- und Heuanhäufung im Stadtinnern verringere die Feuersicherheit des Ortes. Alles in allem, der Bauer gehöre nicht in die Stadt; bleiben die landwirtschaftlichen Höfe außerhalb der Stadt, dann könne auch die Befestigung enger und geschmeidiger um die Siedlung gezogen werden. Eine „allzu umschweifende Fortifikation“ verursache viele Kosten und brauche unnütz viel Besatzung. Eine geringe, aber tapfere und zuverlässige Besatzung sei erwünscht.

Als Grundform der Stadt eigne sich ein längliches Oval besser als ein Kreis (Abb. 29 u. 30). Die Befestigung des Ortes, seine Sicherheit nach außen und innen steht auch bei Furttenbach — was ja bei der kriegerischen, unruhigen Zeit nicht verwunderlich ist — noch im Vordergrund des Interesses, wird aber doch nicht mehr so vordringlich wie bei Speckle behandelt. Die Befestigungsanlage selbst ist aus dem Plan zu ersehen. Der Befestigungsring wird durch 18 Basteien und vier äußere Dreieckschanzen, den sogenannten „Ravelinen“ an den Stadttoren und zwei innere Schanzen an den Schmalseiten des Ovals

ein gemeines Stattwesen gehalten“ und „gleich in seiner Gegenwart in gar großer Form ein ordentlichen Grundriß aus seinen eigenen Sinnen und zufliegenden Gedanken deliniret und zugleich einen Auszug (Aufriß) gemachet“ habe. Er habe auch einen vom Vater erhaltenen allerdings noch nicht veröffentlichten „Mannhaften Kunstspiegel“ in dem „gegenwärtigen Tractat“ teilweise „copirt“. Die der Arbeit beigegebenen Stiche, die hier in den Abbildungen wiedergegeben werden, sind nach ihrer Aufschrift vom älteren Furttenbach entworfen und nur von dem jüngeren ausgezogen. Wir können also ohne weiteres die Druckschrift als Niederschlag der Ansichten des älteren Furttenbach und damit ohne weiteres als städtebauliches Dokument aus dem ersten Drittel des 17. Jahrhunderts ansehen.

Abb. 28. Mannheim, erste Stadtanlage.

verstärkt. Bei jedem Stadttor befindet sich ein Soldatenquartier für 150 Mann zu Fuß und 80 Mann zu Pferde, die für die Sicherheit des Ortes und für die Aufsicht des Torverkehres verantwortlich sind. Die Soldatenquartiere werden durch Zwingmauern nach dem Tor und nach der Stadt hin abgeschlossen und so vor Überrumpelungen nach beiden Seiten hin geschützt.

Im Mittelpunkt der Stadt steht das Zeughaus, von dem breite Gassen auf kürzestem Wege nach Norden und Süden zu den Befestigungswerken hinführen, damit das im Zeughaus verwahrte grobe Geschütz schnell auf den Wällen in Stellung gebracht werden kann. Beim Zeughaus ist der Alarmplatz der Bürgerwehr. Hier werden die Waffen ausgegeben, von hier aus kann jeder bedrohte Punkt der Befestigungswerke schnell erreicht werden.

Die weiteren Hauptlinien der inneren Grundgestaltung des Ortes werden von zwei Gedankengängen des Planbildners beherrscht. Der eine Gedankengang ist auf eine streng geregelte Abwicklung des die Stadt berührenden Handelsverkehrs gerichtet, der andere will die vielseitigen Vorteile und Annehmlichkeiten von die Stadt durchfließenden Wasserläufen möglichst vollständig dem Gemeinwesen sichern.

Aus Sparsamkeitsgründen sollen nicht mehr als vier Tore angelegt werden, und zwar auf der Südseite das Früchteeinfahrtstor und das Gütereinfahrtstor und ihnen entsprechend auf der Nordseite das Früchteausfahrtstor und das Güterausfahrtstor. Korn, Wein, Schmalz und Salz dürfen nur durch das Früchteeinfahrtstor (*S*) eingeführt werden. Von dort wird es von der Torwache zum Kornhaus oder Weinstadel gewiesen, dort feilgehalten, verkauft, Meßgeld oder Zoll erhoben, oder, falls es nicht in der Stadt verbleiben soll, durch das Früchteausfahrtstor (bei *W*) wieder abgeschoben. Alle Kaufmannsgüter sollen nur durch das Gütereinfahrtstor (bei *R*) in die Stadt gelassen und in gleicher Weise auf kürzestem Wege zum Güterhaus geleitet, dort abgeladen und verzollt, oder durch das Güterausfahrtstor (bei *T*) wieder abgeschoben werden.

Durch die die Ein- und Ausfahrtstore verbindenden Straßen wird eine klare Querteilung der Siedlungsfläche gewonnen. Die Längsaufteilung wird durch zwei Wasserläufe bestimmt. Furttenbach führt im Osten einen Kanal in die Stadt. Dieser speist die Stadtgräben und einen ausgedehnten, tief ausgeschachteten Stauteich, der der Stadt einen beträchtlichen Wasservorrat sichert, den ihr auch der Feind nicht durch Abgraben entziehen kann. Der Stauteich dient auch als Binnenhafen. Der Zuführungskanal ist schiffbar. Auf ihm kann Bau- und Brennholz durch Flöße; Steine, Kalk, Sand und Kohle durch Schiff zur Stadt geschafft werden. Die Ein- und Ausladestellen befinden sich (bei *gg*) zwischen Teich und Werkhaus, das mit der Sägemühle verbunden ist. Die Plätze (*gg* und *ttt*) dienen als Arbeits- und Holzstapelplätze, gleichzeitig als Sägehof. Steine, Kalk und Sand werden in dem nahen „Materialstadel" (*rr*) und Holz und Kohle in dem Kohlenstadel (*sss*) gelagert. Von dem Stauteich gehen zwei Wasserläufe (von *aa* nach *bb*) durch die Länge der Stadt. Sie sollen die Stadt erfrischen, reinigen, allen Unrat abführen und die Siedlung reichlich mit Wasser zum Feuerlöschen und Waschen versorgen; sie sind gleichzeitig als Kraftquellen zu verwenden. Furttenbach hofft, durch den Aufstau im Stauweiher genügend Gefälle zu gewinnen, um bei den An- und Abläufen dieser Stadtkanäle (bei *aa* und *bb*) Pumpwerke treiben zu können. Diese sollen Grundwasser nach Brunnenstuben fördern und von dort in unterirdischen Wasserleitungen den Röhrenbrunnen im Orte zuführen, wo die Einwohner Trink- und Kochwasser in bequemer Weise entnehmen können. Die Stadtkanäle sollen auch Korn- und Sägemühlen und Eisenhämmer im Innern der Stadt treiben. Beide Kanäle werden am Westende der Stadt unterirdisch zusammengeführt und verlassen in einem gemeinsamen Bett (bei *mm*) die Siedlung. Unterhalb der Stadt wird es dann oft möglich sein, die Wasserkraft des Kanals noch weitergehend auszunutzen und Korn-, Papier- und Ölmühlen oder Gerbereien, Kupfer- und Eisenhämmer anzulegen.

An die Stadtkanäle wird eine große Reihe von öffentlichen oder gemeinnützigen Bauwerken verwiesen, die ihre Rückseite oder Schmalseite dem Kanal zuwenden. Sie finden hier ihren Platz, weil sie entweder die Wasserkraft ausnutzen oder aber mit dem Wasser ihre Anlagen und Wirtschaftsgeräte sauber halten sollen. So reiht Furttenbach am Südkanal, nur selten von Bürgerhäusern unterbrochen (von Westen nach Osten), folgende Gebäude hintereinander: Bad, Kornmühle, Schlachthaus, Herberge, Apotheke, Weinstaden, Rathaus (den Kanal überbauend), Gefängnis, Provianthaus, Bürgerschule, Bad, Kornmühle, Schlachthaus, Herberge und Spital.

Am Nordkanal (ebenfalls von Westen nach Osten): Bad, Kornmühle, Schlachthaus, Herberge, Apotheke, Weinstaden, lateinische Schule (den Kanal überbauend), deutsche Schule, Theater, Apotheke, Werkhaus.

Diese beiden Reihen von öffentlichen Gebäuden teilen die Siedlung in drei Abschnitte: zwei äußere und einen inneren. Im inneren Abschnitt werden die Bauplätze für die öffentlichen Gebäude ausgespart. Zeughaus, Zollhaus, Kornhaus und Weinstadel sind bereits genannt. In die Mitte der Stadt (nach *A*) „an einem stillen Ort" kommt „das beste Kleinott" „die Hauptkirche", umgeben von einem „holdseligen Wäldlein" von Lindenbäumen. Die Amtswohnung des Superintendenten (*ss*) und des Seniors (*vv*) liegen dem Eingang der Kirche gegenüber am Kirchplatz. Bei *tt* befindet sich die Schuldruckerei, bei *uu* die Ratsdruckerei. Bei *B* und *C* im Ost- und Westteil der Stadt werden zwei weitere Kirchen geplant und bei beiden Pfarr- und Küsterwohnungen (*H* und *J*) vorgesehen. Das Rathaus kommt auf die Südseite, die lateinische Schule, in der auch die noch nicht untergebrachten Seelsorger und Lehrer Wohnungen erhalten sollen, auf die Nordseite des Kirchplatzes. Die drei Gebäude, Rathaus, lateinische Schule und Kirche, sollen nach Furttenbach zu all und jeden Zeiten „bei auch gleich neben einander" stehen, damit sie in unzertrennter Einigkeit und herzlichem Vertrauen verbleiben. Sechs „teutsche Schulen" (bei *G* und *E*) werden bei den Nebenkirchen und in der Mitte der Stadt angelegt. Beim Spital im Südostteil des Ortes liegt auch das Findelhaus, beide haben gemeinsam den Garten (*nnn*), der zur Erfrischung (zum „refressieren") oder zur Ergötzung der Spittelleute und Findelkinder dienen soll. Ein kleiner Mayerhoff (*v*) zwischen Spital und Findelhaus soll beide mit Milch und Schmalz versorgen. Ein Lazarett für ansteckende Kranke mit einem kleinen abgesonderten Garten wird in der äußersten Südostecke der Stadt angelegt, damit die vorherrschenden Westwinde die Ansteckungskeime nicht in die

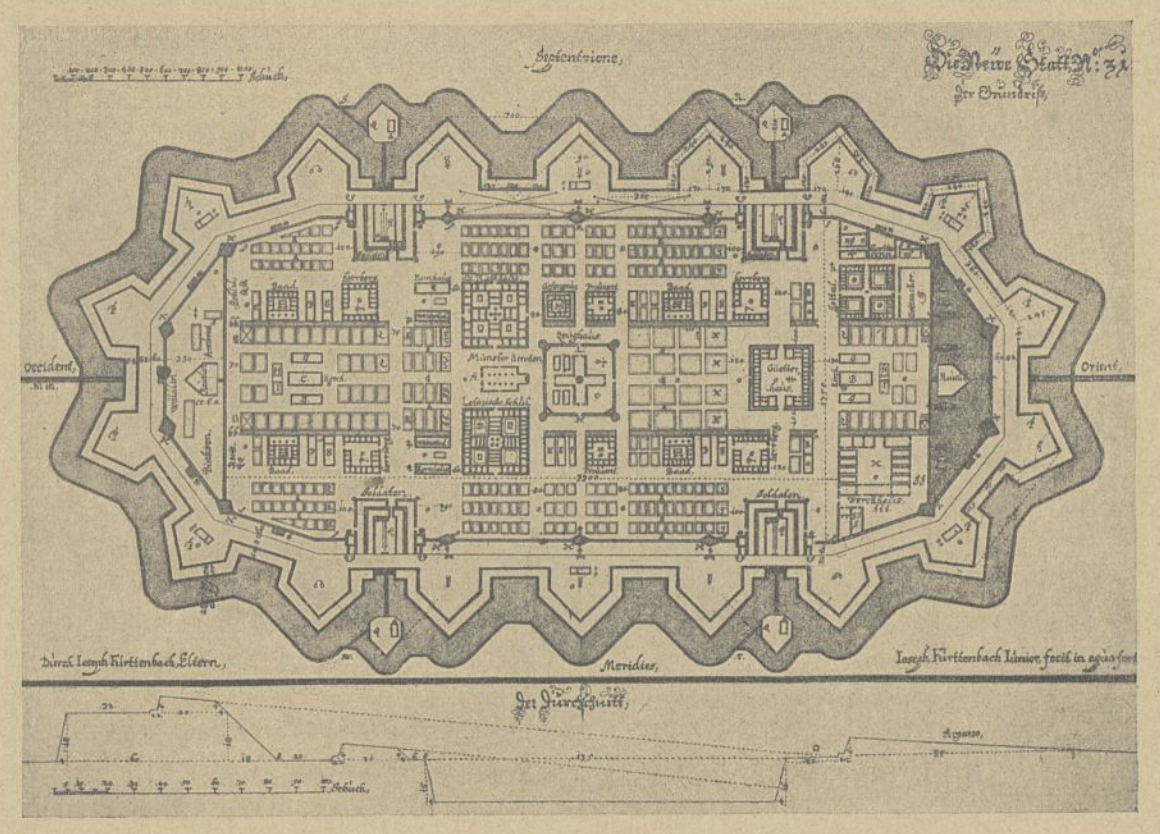


Abb. 29. Joseph Furttenbach. Musterstadt, Grundriß.

Stadt hinein, sondern von ihr fortführen. Aus demselben Grunde kommt hierher der Gottesacker.

An das Westende der Stadt kommen offene Reitplätze, in ihrer Nähe sollen Stallungen, Wagenremisen und die Wohnungen für Bereiter, Trompeter, Knechte und Stalljungen vorgesehen werden.

Durch eine Mauer von der eigentlichen Stadt getrennt, nimmt den Westabschnitt des Stadtovals eine öffentliche Parkanlage, „ein holdseliges Wäldlein“, ein, das der Bürgerschaft zur Erholung, „zur Recreation“, dienen und Spazierwege enthalten soll, gleichzeitig sollen hier die Übungen der Bürgerschaft im Scheibenschießen und Geschützexerzieren stattfinden; derartige Übungen seien rühmlicher, als daß die Bürger zu überflüssigem Zechen und Spielen gewöhnt werden.

Furttenbach sieht drei Arten von bürgerlichen Wohnhäusern vor. Inmitten der Stadt, zwischen Zeughaus und Güterhaus, will er die „vornemsten“ Bürger unterbringen, ihre Bauplätze sind 32 m (110 Schuh) breit und tief, sie erhalten Hof und Garten. Eine zweite mittlere Größe von Bürgerhäusern wird im östlichen und westlichen Ende der Mittelstadt angenommen; ihre Baustelle ist etwa 16 m (55 Schuh) breit und etwa 32 m (110 Schuh) tief. Für sie wird ein Hof, aber kein Garten vorgesehen. Die dritte Art von Bürgerhäusern ohne Garten und mit Hof wird für den nördlichen und südlichen Randteil der Stadt (bei *y*) vorgeschlagen; ihre Bauplatzgröße ist 17,5 m (60 Schuh) breit und 26,25 m (90 Schuh) tief. In ihnen werden häufig, worauf Furttenbach hinweist, zwei, drei und mehr Haushaltungen vorzusehen sein. Noch kleinere Häuser anzulegen und diese auf die freigelassenen Plätze zu verweisen, stellt Furttenbach anheim. Alle Baublöcke sind nur einseitig bebaut, so daß also jedes Grundstück an zwei Straßen liegt. Innerhalb des Baublockes sind die einzelnen Grundstücke durch Licht- oder Traufgassen voneinander getrennt. Furttenbach sagt: „die Häuser stehen frei und können allseitig Fenster erhalten.“

Die gesellschaftliche Gruppierung der Einwohner nach bestimmten Wohnbezirken ergibt sich schon aus den Größenbemessungen der Bürgerhäuser. Auch Furttenbach will, wie

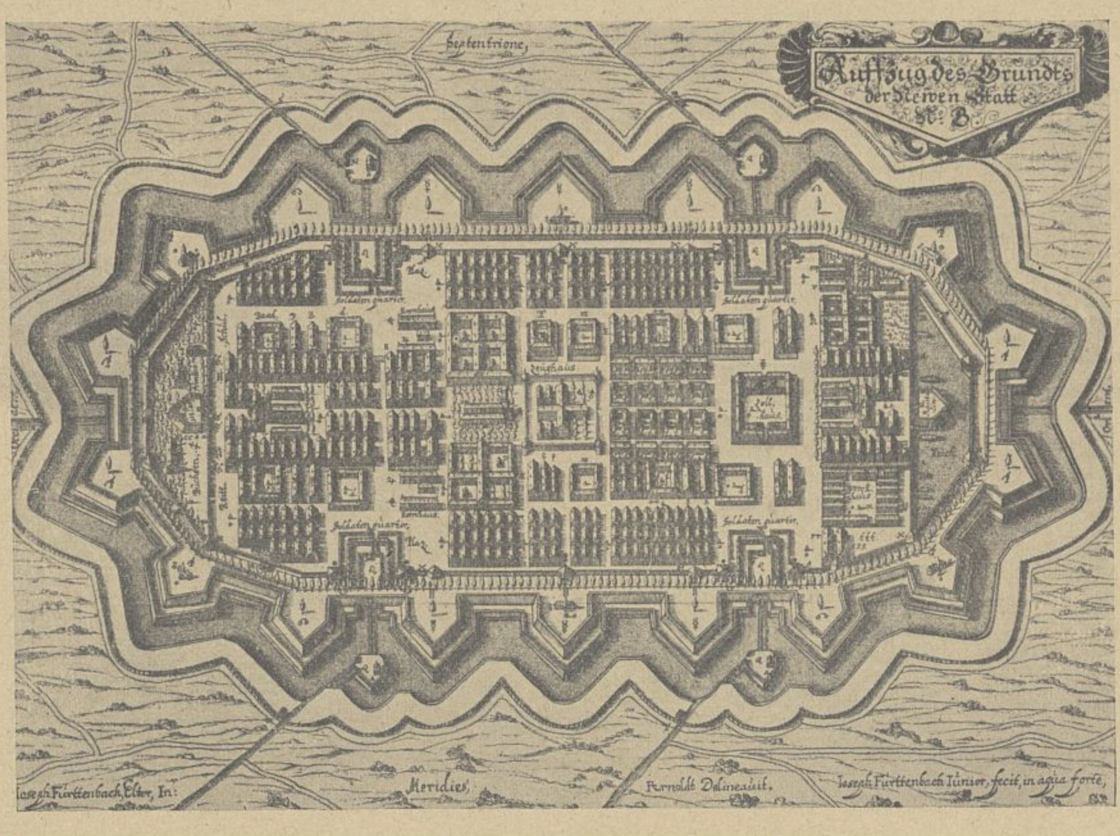


Abb. 30. Joseph Furttenbach. Musterstadt

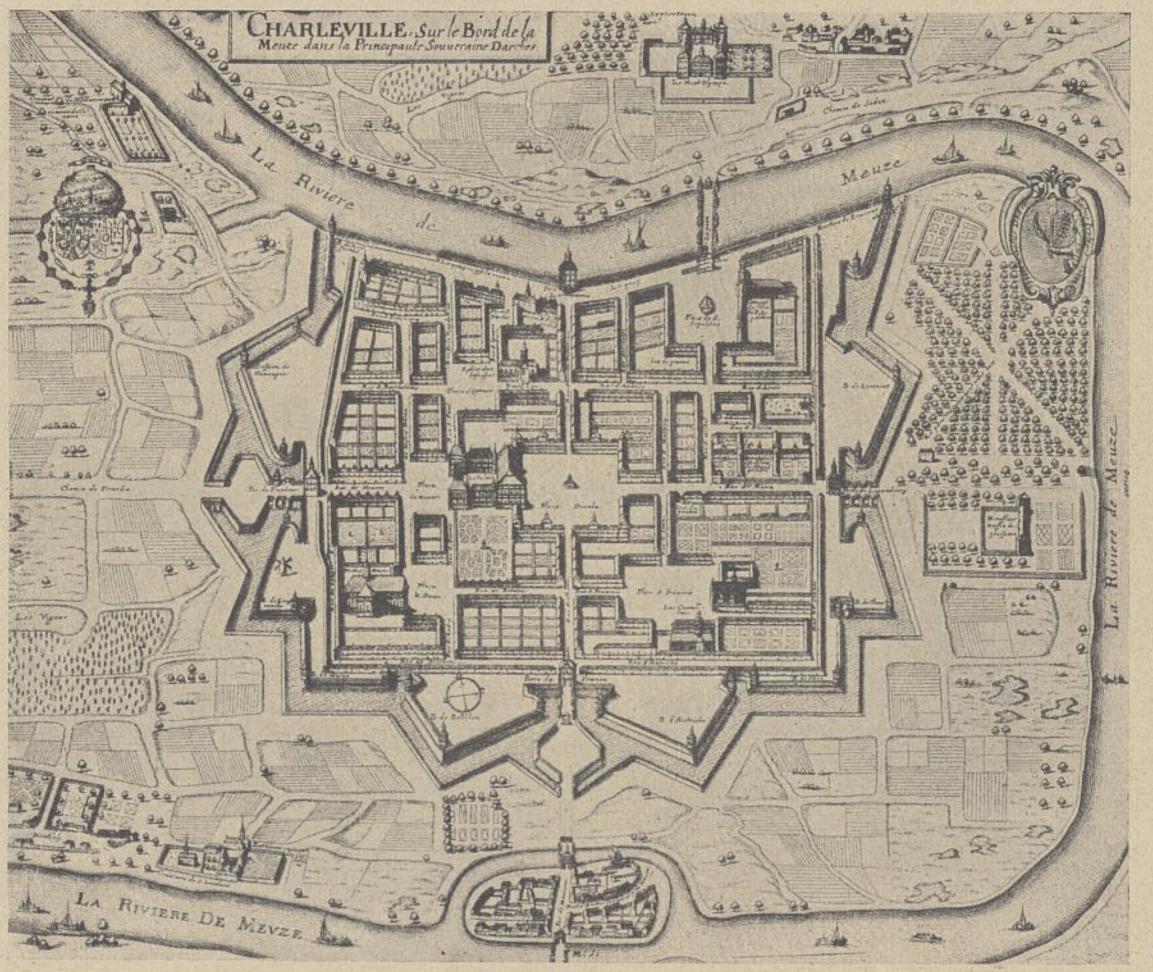


Abb. 31. Charleville, Stadtgrundriß nach Merian.

alle seine Vorgänger, eine Sonderung der Bürger nach ihren Hantierungen. „Die Handwerker sind in hierzu besonders verordnete Gassen zu gestellen.“ Des Wunsches, daß die an einem bestimmten Ort Beschäftigten möglichst dicht an ihrer Arbeitsstätte untergebracht werden sollen, wird des öfteren Erwähnung getan; so sollen bei den Kornhäusern und Weinstaden die Kornmesser und Weinzieher ihre Wohnungen erhalten.

Beurteilt man den Furttenbachschen Stadtplan als Ganzes, so wird man eine Reihe von klar ausgesprochenen Gesichtspunkten hervorheben müssen.

Die Berücksichtigung der Interessen der Bürgerschaft ist das oberste Gesetz für die Stadtplanung. — Dies erkennt man einmal deutlich in der Art, wie Furttenbach den erwarteten Verkehr zweckdienlich regeln, die öffentlichen Gebäude dementsprechend verteilen, Straßen und Plätze anlegen und alle möglichen Vorkehrungen für Volksgesundheit und Wohlfahrt treffen will.

Der durchgehende Verkehr wird auf kürzestem Wege durch die Stadt geführt. Die Plätze zwischen den Soldatenquartieren an den Toren und der Stadt gestatten die Anhäufung von Fuhrwerken, ohne daß die Gefahr der Verstopfung des Durchlasses aufträte. Je eine Herberge an jedem Tor wird auch von den ortsunkundigen Fremden sofort gefunden werden. Der Durchgangs- und innere Handelsverkehr wird nach Früchten, zu denen alle landwirtschaftlichen Erzeugnisse und Salz rechnen, und Kaufmannsgütern getrennt. Die ersteren sind auf die westliche, die letzteren auf die östliche Querstraße verwiesen. „Damit durch allzu vieles Fahren der Lärm an einem Ort nicht zu groß werde und damit jede Sache zu verkauffen ihren besonderen Platz habe“, sind bei diesen Querstraßen, besonders in der Nähe der Soldatenquartiere, Plätze von der Bebauung freigelassen. Auf diesen sollen die einzelnen Gewerbe nach ihrer Eigenart in aller Bequemlichkeit ihre Stände aufschlagen. Für den Verkauf der Kaufmannsgüter ist in erster Linie der um das Güterhaus vorgesehene Freiraum bestimmt.

Wird der gesamte Handelsverkehr in der Nähe der Ost- und Westquerachse gesammelt, so entstehen einige vom geräuschvollen Verkehr abgesonderte Stadtteile. Diese will Furttenbach schaffen, hierher sollen die Gebäude verwiesen werden, für die eine ruhige Lage erwünscht ist. Ein derartig „stiller bequemer“ Ort, im Zentrum der Stadt gelegen, nimmt die Hauptkirche, Rathaus und Schulen auf, zwei andere ruhige Plätze im Westen und Osten sind wieder Kirchen und Schulen vorbehalten.

Die Mittel-, Quer- und Längsachsen teilen den Ort in vier Teile, von denen jeder ungefähr die gleiche Anzahl Einwohner zählen wird. Um für die Bewohner allzu weite Wege zu ersparen, werden in jedem Stadtteil ein Bad, eine Kornmühle, ein Schlachthaus und eine Apotheke untergebracht. Die für die Gesamtgemeinde bestimmten Gebäude, wie Rat-



Abb. 32. Charleville, Markt.



Abb. 33. Charleville, Markt.



Abb. 34. Charleville, Markt.



Abb. 35. Charleville, Straßenzug.

haus, Hauptkirche, lateinische Schule, Zeughaus, Provianthäuser, Theater, Ballhaus, liegen inmitten der ganzen Stadt, so daß keine Stadtgegend bevorzugt oder benachteiligt erscheint.

Die Straßen haben je nach ihrer Bedeutung verschiedene Breiten erhalten. Die Hauptstraßen sind 17,5 bis 23,5 m (60 bis 80 Schuh), die Gassen etwa 9 m (30 Schuh) breit, also beträchtlich breiter als bei Dürer, angeordnet. Plätze sind reichlich vorgesehen, schon damit eine Ausdehnungsmöglichkeit gegeben ist; sie sollen beim Anwachsen der Bevölkerungszahl allmählich bebaut werden.

So wenig Raum in den Vorschlägen Furttenbachs die militärischen Fragen beanspruchen, so stark betont sind die Maßnahmen für Volkswohlfahrt und Gesundheit. Gerade darin zeigt sich das Neuzeitliche. Die Be- und Entwässerung ist sorgsam überlegt. Hier hören wir im deutschen Städtebau zum ersten Male etwas von öffentlichen Gartenanlagen, in denen Spazierwege für die Bürgerschaft angelegt werden sollen, auf denen diese Erfrischung und Ergötzung finden soll; hier wird von der Anlage eines Theaters und eines Ballhauses gesprochen, das einen durchaus bürgerlichen Charakter haben soll. — Furttenbach versucht sichtlich, sich eine klare Vorstellung von dem künftigen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Leben in seiner Musterstadt zu machen, und aus den Bedürfnissen, die sich hierbei ergeben, die Grundlagen für den Stadtplan so einfach, so vernünftig und so selbstverständlich, aber auch so praktisch wie möglich zu gewinnen.

Daß hier Palladios Anschauungen deutlich oder auch nur zum Teil bewußt aufgenommen worden wären, soll nicht behauptet werden. Aber trotzdem wird man zugeben müssen, daß keine Änderung der Grundanschauung mehr notwendig ist, um auf der jetzt gefundenen Grundlage eine künstlerische Stadt zu bauen. Ich möchte aber noch an einer auf französischem Boden um diese Zeit ausgeführten Stadt nachweisen, daß in der Tat „die Stadt als Kunstwerk“, wie sie Palladio gezeichnet hat, bereits Wirklichkeit geworden ist. Karl Gonzaga aus dem Geschlecht der Herzöge von Mantua, dessen Vater Ludwig eine französische Erbtochter[48]) geheiratet hatte

48) Henriette v. Cleve, die Tochter des Herzogs Franz v. Nevers, Rethel u. Humières.

und französischer Herzog geworden war, gründete 1609 die Stadt Charleville. Der Plan (Abb. 31)[49]) gibt Aufschluß über die städtebaulichen Grundgedanken. Zwar ist der äußere Befestigungsring noch sternförmig, die Stadt selbst aber hat die für die praktische Blockaufteilung viel günstigere rechteckige Grunform erhalten, die in ihrer Regelmäßigkeit nur durch den Flußlauf etwas beeinträchtigt ist. Die Richtung des durchgehenden Verkehrs ist die Nord-Südrichtung, der Verkehr verläuft aber in dieser Richtung nicht geradlinig, sondern wird in seinem Verlauf auf dem Markte gebrochen. Der Stadtplan ist reich an Plätzen. Alle Plätze und Straßen sind als Räume gebildet. Dort, wo eine Hauptstraße nicht durch ein Tor ihre Abschlußarchitektur erhalten kann — wie am Flußknick —, wird ein besonderes Abschlußbauwerk zur Ausführung gebracht. In der Größe der Plätze, in ihrer Lage zu den Straßen und zueinander herrscht reiche Mannigfaltigkeit. Auch die angedeutete Randbebauung der Straßen, die Einordnung der Kirchen und öffentlichen Gebäude in den Stadtplan läßt erkennen, daß die Gesamtstadt als ein einheitliches Kunstwerk gedacht war, das seinen besonderen Ausdruck in dem Herzogsplatz, dem Hauptmarkte des Ortes mit Schloß und anschließender einheitlicher Bebauung, erhielt.

Schluß.

Was ist Stadtbaukunst?

Da die „Stadtbaukunst" die ganze Stadt als Einheit, als Kunstwerk betrachtet wissen und sie den allgemeinen künstlerischen Grundgesetzen unterwerfen will, läßt sich die Stadtbaukunst der Renaissance auch nur innerhalb und mit der Kunst der Renaissance begrifflich erklären.

Die lange Reihe der italienischen Kunstschriftsteller, die alle zugleich ausübende Künstler waren, bezeugt, daß dem Verstande als einem Bildner der Renaissancekunst eine Stelle zukommt, die des Geschmackes, des Schönheitssinnes beinahe ebenbürtig ist. Die Männer von Alberti bis Palladio suchten sich über das Kunstgeschaffene und die Art des Schaffens Rechenschaft abzulegen, sie wollen wissen, was Baukunst ist, und sagen uns deutlich, was sie darunter verstanden wissen wollen.

Nach Alberti[50]) beruht „das der Baukunst zugrunde liegende ästhetische Gesetz vorwiegend auf drei Vorbedingungen: der Zahl (*numerus*), der Beziehung (*finitio*) und der Anordnung (*collocatio*). Durch die Zusammenfassung und Vereinigung dieser drei entsteht das Ebenmaß (*concinnitas*). Aus diesen Begriffen leitet Alberti seine Erklärung der Schönheit ab: „Die Schönheit ist eine Art Übereinstimmung und ein Zusammenklang der Teile zu einem Ganzen, das nach einer bestimmten Zahl, einer besonderen Beziehung und Anordnung ausgeführt wurde, wie es das Ebenmaß, das heißt das vollkommenste und oberste Naturgesetz, fordert."

„Die Schönheit erblickt Alberti zunächst nicht so sehr in der künstlerischen Durchbildung der Einzelform, als vielmehr in der folgerichtigen Gestaltung von Grund- und Aufriß, in der angemessenen Gruppierung der Baumassen zu einem harmonischen Ganzen nach dem Gesetz der Abwechslung und des anmutigen Kontrastes in Verbindung mit der Symmetrie."

Die schöne Wirkung einer Folge von Räumen ist mitbegründet durch den Wechsel ihrer Form und Größe. Wie die Beziehungen von Größen faßlich sein müssen, um als schön zu gelten, so dürfen die Glieder eines Werkes nicht zu zahlreich sein, damit sie übersichtlich bleiben.

Die Harmonie, die Alberti als höchste Forderung von dem Bauwerke selbst verlangt, soll es jedoch auch seiner Umgebung gegenüber besitzen. So fordert er in der Stadt, im Gebiet der geschlossenen Bauweise, ein Anpassen an die bereits bestehenden Bauten, auf dem Lande ein organisches Einfügen der ländlichen Bauten in den Rahmen des Gesamtbildes.

Wenn Alberti das einzelne Bauwerk als einen einheitlichen Organismus betrachtet wissen will, so wird bei Palladio die Stadt zum Organismus. Jeder Organismus besteht aber aus Form und lebendigem Inhalt. Zur Beherrschung beider ist die Kenntnis der Natur nötig; so wird diese zur obersten Lehrmeisterin der Renaissancekunst. — Die Stadt, die unter Beachtung dieser Gesetze geschaffen ist, muß den Eindruck einer Naturschöpfung erwecken. Sie muß in sich ausgeglichen sein. Es muß der Grundplan mit seinen Teilen, der Aufbau mit seinen Massen einen harmonischen Ausgleich gefunden haben, es müssen Grundriß und Aufbau in restlosem Einklang miteinander stehen. Alle Teilungen müssen nach rhythmischen Gesetzen erfolgen, bei allen Raumbildungen die den Raum bildenden drei Größen zueinander abgestimmt sein. Aber dieses Kunstgebilde wird nur dann zum Organismus, wenn sich in der äußeren schönen Hülle das Leben in der von der menschlichen Gesellschaft gegebenen natürlichen Form unbeengt regen und entfalten kann. Dies ist aber nur dann möglich, wenn der Städtebauer das gesellschaftliche Gefüge und die wirtschaftliche Betätigung des Gemeinwesens studiert und verstanden hat und aus diesem Verständnis heraus einen durchaus natürlichen und passenden Rahmen für das Leben der Gemeinde geschaffen hat. Die äußere Form muß in vollem Einklang mit ihrem Inhalt stehen. Der von Alberti so oft erwähnte Dreiklang: Zweckmäßigkeit, Dauerhaftigkeit und äußere Anmut müssen zusammenstimmen, wenn der Städtebau sich zur Stadtbaukunst entwickeln soll.

„Zweckmäßigkeit" war das oberste Stadtbaugesetz des Mittelalters, die „Dauerhaftigkeit" war das Ziel des Festungsbaues. Durch den Zusammenklang beider mit dem Verlangen nach „äußerer Anmut" ist die Stadtbaukunst als solche entstanden.

49) Merians Topographie von Gallien 1656 entnommen.

50) Vgl. Max Theuer, Alberti. Einleitung.

Genagelte und Füllungstüren des Mittelalters.

Von F. Borowski, Regierungs-Baurat in Breslau.

(Mit Abbildungen auf Blatt 39 und 40 im Atlas.)

In der Schreinerei des Mittelalters*) finden wir im wesentlichen bereits dieselben Holzverbindungen vorbereitet und ausgebildet wie sie in der späteren Zeit vom 16. bis zum 19. Jahrhundert in Übung blieben. Während unsere Zeit, trotzdem an die Stelle der handwerklich eigentümlichen Einzelware der Maschinenbetrieb mit seiner Massenherstellung getreten ist, in bezug auf die stoffgerechte Behandlung des Holzes und das eigentliche Werkgefüge wesentlich Neues nicht hervorgebracht hat, muß man vom künstlerischen Standpunkt geradezu von einem Rückschritt sprechen. Jene gesunde Überlieferung und jener einheitliche Wille, der einst beides, das Technische und das Künstlerische, meisterte, sind längst verloren gegangen. In nachstehendem soll nun auf einem beschränkten Gebiet an alten Holztüren gezeigt werden, wie bei ihrer Herstellung das Verständnis für die Eigentümlichkeit des Holzes sich nach und nach steigerte und vervollkommnete, wie Konstruktion und Kunstform Hand in Hand gehen, eins von dem anderen abhängig ist, die Kunstform sich ganz zwanglos aus' der Konstruktion entwickelt hat.

*) Anmerkung: Obwohl die Literatur über das Schreinerhandwerk recht groß und auch zahlreiche Aufnahmen alter Türen und Fenster veröffentlicht sind, ist auf die geschichtliche und technische Entwicklung wie im Nachstehenden kaum eingegangen. Die Anregungen zu dieser Studie verdankt Verfasser im wesentlichen dem Kolleg von Professor Karl Schäfer.

Die aus einem Brett geschnittene Platte ist die einfachste und wohl auch früheste Stufe einer Türform. Da hier dem Werfen des Holzes in keiner Weise Rechnung getragen wird und die Breite einer solchen Tür nur beschränkt, d. h. von der Stärke des betreffenden Baumstammes abhängig ist, fügte man zwei oder mehr Bretter zu einer Tafel zusammen und verband sie zunächst durch aufgenagelte, später durch eingeschobene Querleisten. Zur weiteren Festigung dieses Gefüges dienen Flacheisen und Langbänder, in denen sich die Tür auf Kloben bewegte. Einen Fortschritt bedeuten die verdoppelten Türen. Sie sind aus zwei übereinander liegenden Brettlagen hergestellt. Sowohl bei den einfachen Türen mit Querleisten als auch bei den verdoppelten Türen versucht man schon bewußt den nachteiligen Eigenschaften des Holzes, dem Werfen entgegenzuarbeiten. Besonders bei den verdoppelten Türen ist infolge der verschiedenen Richtung der Holzfasern der beiden aufeinander genagelten Brettlagen ein Sichwerfen der Türflügel ausgeschlossen.

Ebenso einfach wie das ganze Werkgefüge der Türtafeln war auch der Beschlag, die Gangbarmachung und der Verschluß beschaffen. Diese Teile möchten hier, wo lediglich die Entwicklung vom Standpunkte des Schreiners dargestellt

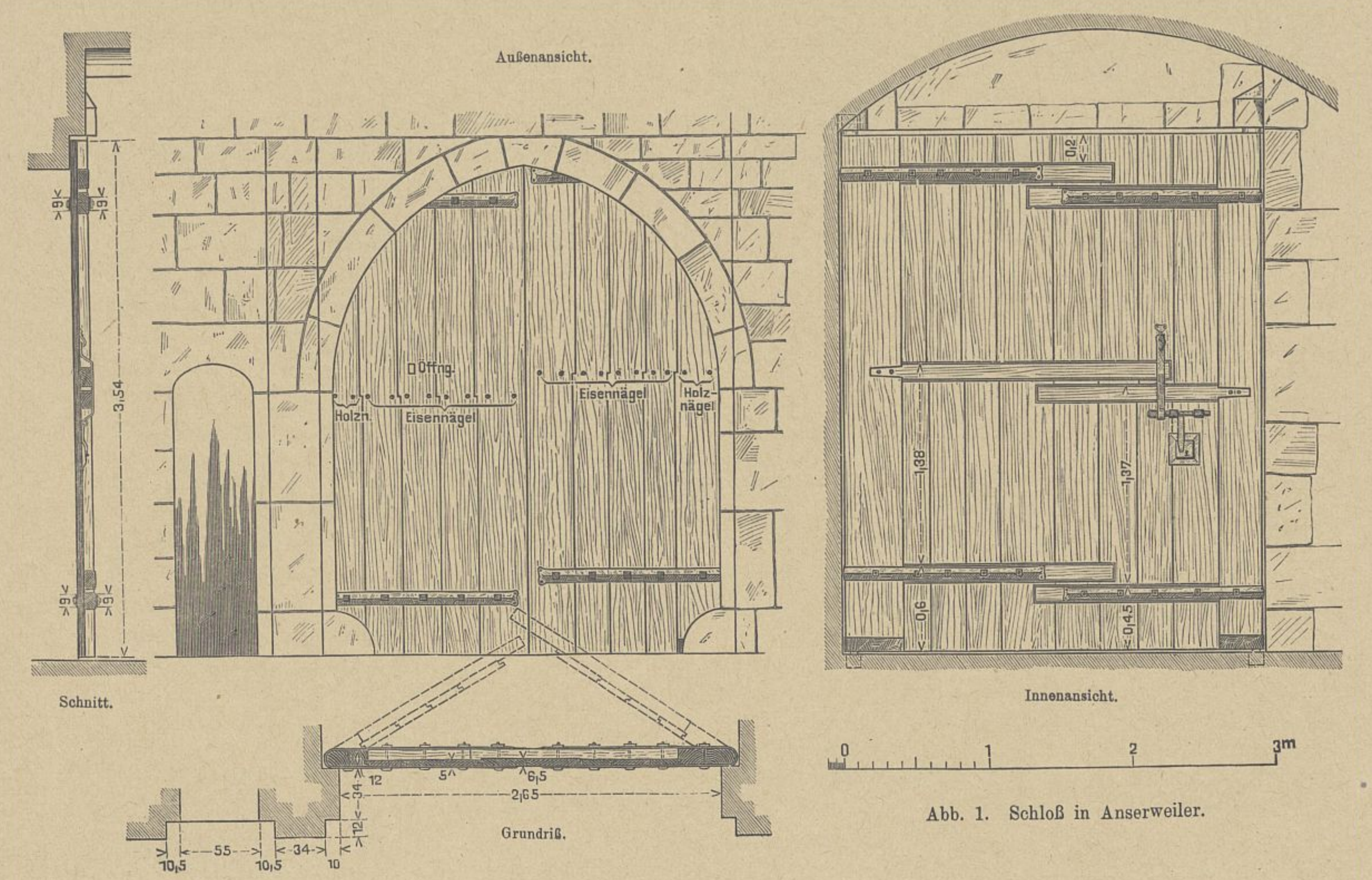


Abb. 1. Schloß in Anserweiler.

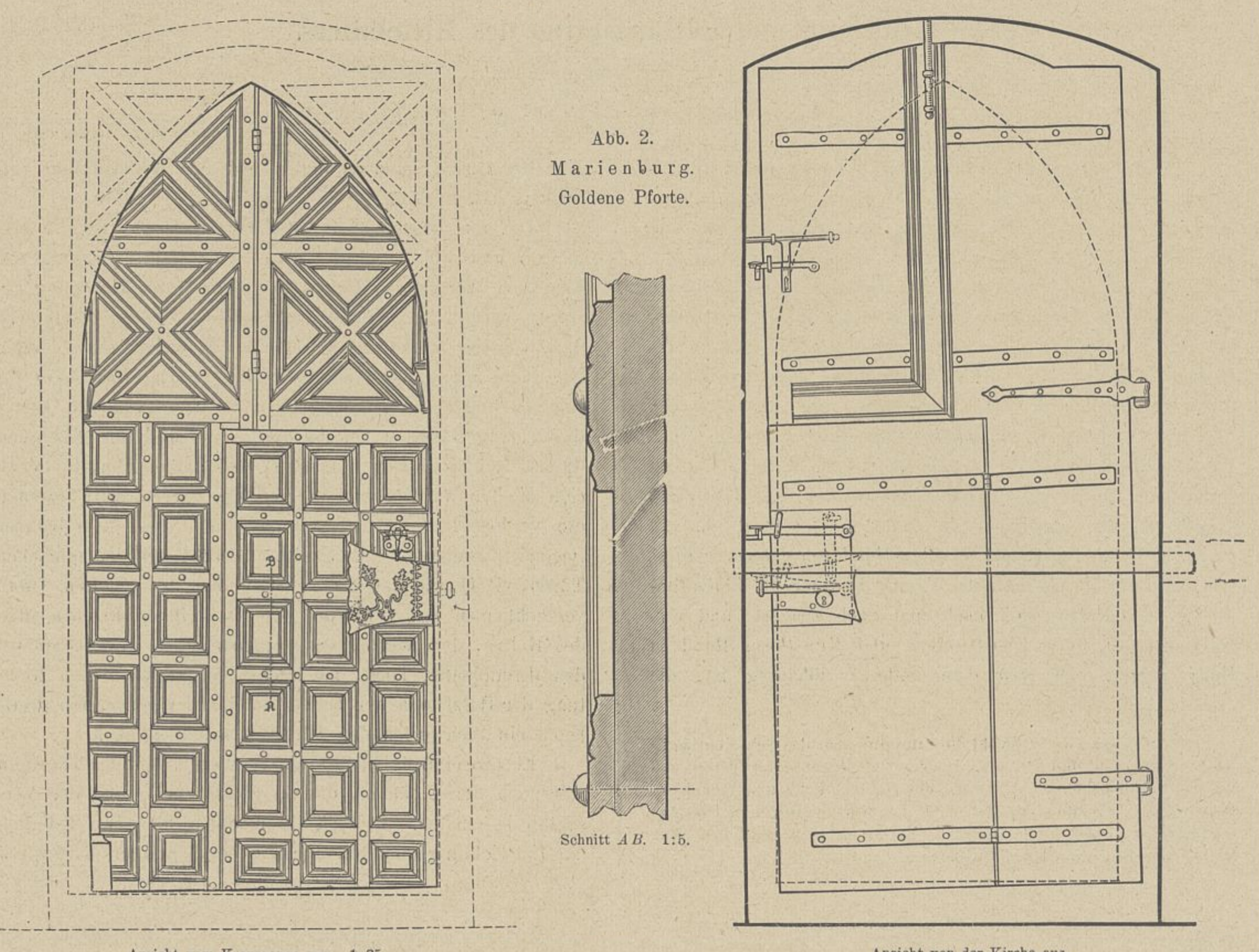


Abb. 2. Marienburg. Goldene Pforte.

Ansicht vom Kreuzgange aus. 1:25. — Schnitt AB. 1:5. — Ansicht von der Kirche aus.

werden soll, wenigstens gestreift werden, da sie auch für die Holzkonstruktionen nicht ohne Einfluß sind und vor allem ein mächtiges Element der künstlerischen Gesamtwirkung ausmachen. Die Türflügel liefen entweder an angearbeiteten hölzernen oder besonders eingefügten eisernen Drehzapfen in Pfannen und Halsringen oder an Bändern auf Kloben. Die erstere Form war besonders in Frankreich sehr verbreitet und lange bei allen Arten von Türen in Übung, während Bänder auf Kloben mehr in Deutschland Brauch wurden. Der Verschluß erfolgte in der frühen Zeit bei Türen ebenso wie bei Fenstern meist durch Balkenriegel, die in den Gewänden der Türnischen in verschiedener Weise festgelegt werden konnten oder auch bei zweiflügeligen Türen an diesen selbst befestigt waren (Text-Abb. 3). Später erst kamen dann die eisernen Rundriegel, Fallen und die eigentlichen Schlösser auf, die gemeinsam mit den Balkenriegeln zum Verschluß herangezogen wurden (Text-Abb. 1, 2 u. 5). Denn fast immer wurden verschiedene, mitunter sogar alle der damals bekannten Verschlußvorrichtungen an einer Tür gleichzeitig angebracht (Text-Abb. 4 von einem Schrank im Diözesanmuseum in Breslau). Große Sorgfalt wurde von jeher auf die künstlerische Durchformung der Türbänder gelegt, und gerade in Deutschland und auch in Frankreich hat dieser Zweig der Schmiedekunst die reichste und feinste Entwicklung erfahren. In der frühromanischen Zeit war er freilich

Abb. 3.

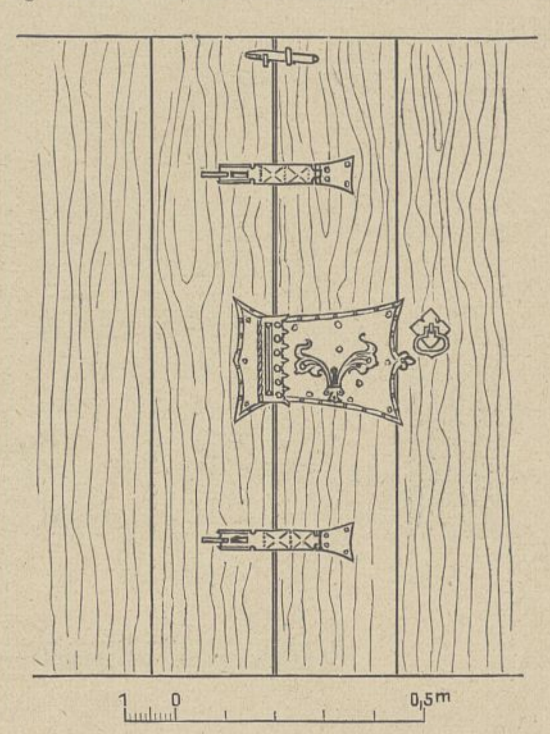
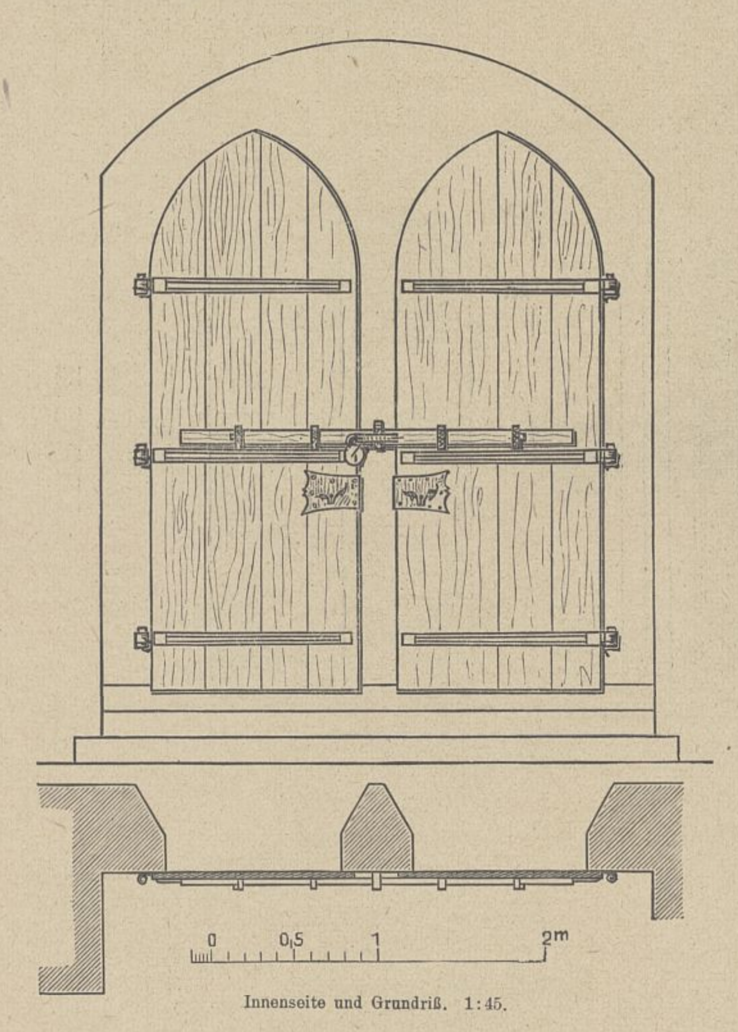
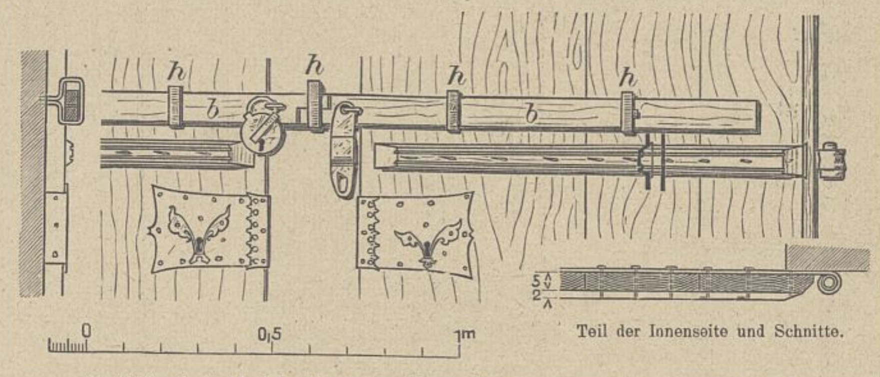


Abb. 4. Verschluß eines Archivschrankes im Diözesanmuseum in Breslau aus dem Jahre 1455.

noch verhältnismäßig einfach und an wenige Schmuckformen gebunden. Diese Einfachheit und Einförmigkeit entwickelt sich in der spätromanischen und gotischen Zeit zu größtem Reichtum und erstaunlicher Mannigfaltigkeit. Häufig füllte der Beschlag mit seinen Einzelformen die ganzen Türflügel aus. Wo die Hauptbänder mit ihren Verästelungen nicht ausreichten, werden lose verteiltes Blattwerk und Ranken zu Hilfe genommen. Das ganze wurde besonders, sofern es sich um innere Türen handelte, mit ungebrochenen Farben im Zusammenklang mit der übrigen farbigen Behandlung des Inneren bemalt, die Beschlagteile durch andere Farben abgesetzt, häufig sogar teilweise oder ganz vergoldet. Zuweilen ging das Bedürfnis nach kostbarer Ausstattung sogar noch weiter, indem man die Türen zunächst mit Stoff oder Pergament überzog und darüber erst den Beschlag anbrachte.

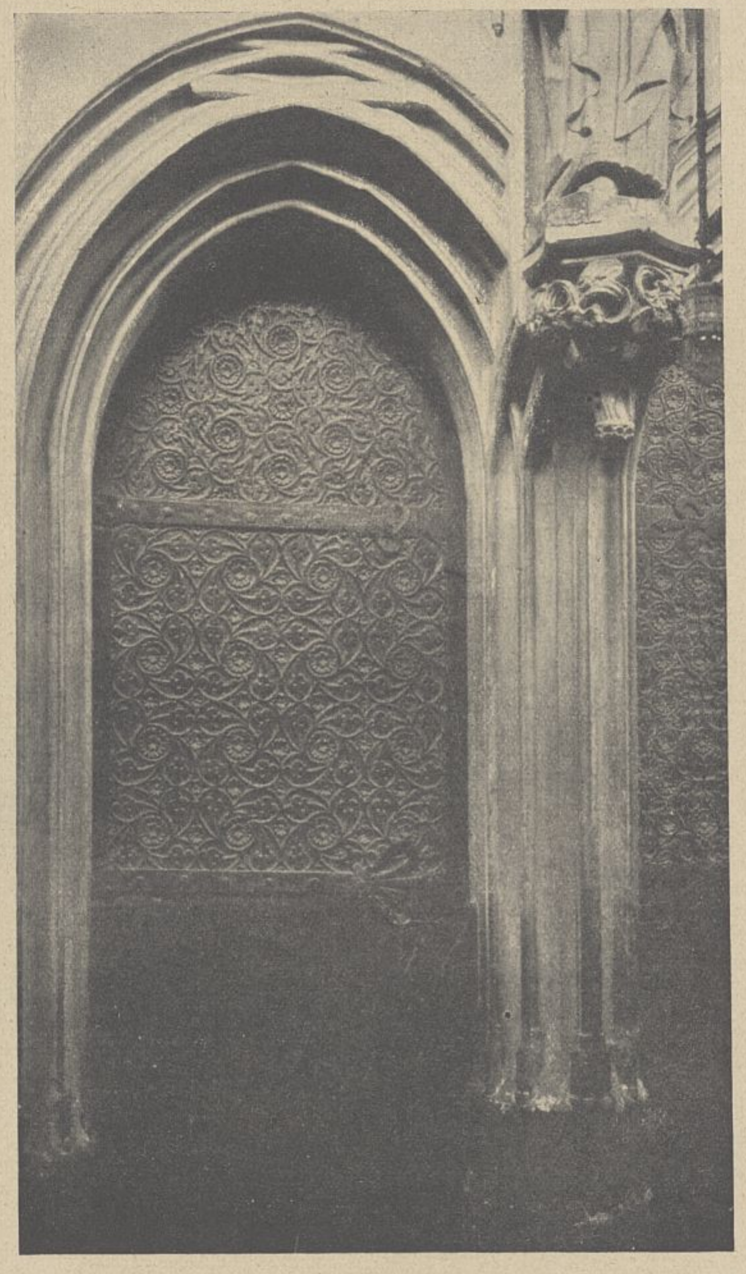


Innenseite und Grundriß. 1:45.



Teil der Innenseite und Schnitte.

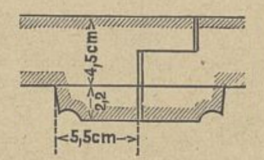
Die Balkenriegel *bb* sind nicht an den Türflügeln befestigt, sondern werden in den Halseisen *hh* geführt, an denen sie vor- und zurückgeschoben werden können.



Außenseite.

Abb. 5. Katholische Pfarrkirche in Glatz. Eingangsportal an der Nordseite.

Eine weitere Möglichkeit des Schmuckes war durch die Flachschnitzerei gegeben. Wir finden sie bei den glatten Türen ebenso wie bei denen mit aufgenagelten Leisten und später bei den gestemmten Arbeiten angewandt. Und zwar nicht nur, wie häufig angenommen wird, in Tirol, sondern auch in fast allen anderen Gegenden Deutschlands. Ein schönes Beispiel bietet die nördliche Eingangstür der katholischen Pfarrkirche in Glatz (Text-Abb. 5). Allgemein verbreitet und seit den ältesten Zeiten bekannt waren die auf einer Seite mit Metall, Eisen oder Bronzeblechen bekleideten Türen. Besonders dort, wo es auf eine möglichst große Sicherheit gegen Einbruch ankam, z. B. bei Türen zu Sakristeien und Schatzkammern, war diese Art der Ausführung sehr beliebt. Wurde besonderer Wert auf ein schönes Aussehen gelegt, so verwandte man zur Bekleidung der Holztafeln getriebene



Einzelheit des Grundrisses bei *a*.

Bleche. S. Zeno in Verona u. a. zeigt eine solche mit Bronzeblech benagelte Tür noch aus romanischer Zeit. Sehr schöne, mit getriebenen Eisenblechen benagelte Türen aus dem 15. Jahrhundert besitzt das Rathaus in Breslau.

Eine andere im Mittelalter allgemein verbreitete Ausführung ist die, daß an der Außen- oder Schauseite ein Leistenwerk aufgenagelt wurde. Hatten diese Leisten nun auch zunächst eine rein konstruktive Bedeutung, indem sie in derselben Weise wie die Quer- und Strebeleisten zum Zusammenhalten der einzelnen Bretter dienten, so verdanken sie ihre große Verbreitung bei allen Arten von Türen und Toren doch wohl im wesentlichen ihren mannigfaltigen Ziermöglichkeiten. Auf die Schmuckbestimmung dieses Leistenwerkes weist auch der Umstand hin, daß außer ihm an den Innenseiten fast immer noch Quer- und Strebeleisten zur Festigung des Gefüges angebracht waren.

Während in Deutschland und auch in Frankreich neben den Leistentüren auch die glatten Türen mit reichen Beschlägen sehr beliebt waren und, wie oben erwähnt, in der mittelalterlichen Schmiedekunst eine große Rolle gespielt haben, sind in Italien Türen mit aufgenagelten Leisten, besonders wenn es sich um die Ausstattung monumentaler Gebäude wie Kirchen, Paläste und Stadthäuser handelt, fast die Regel. Zahlreiche Beispiele aus dem Mittelalter finden sich u. a. noch an einigen Palästen von Florenz und Siena, bei fast allen mittelalterlichen Kirchen Veronas (Text-Abb. 9 u. 17), bei S. Michele und San Pietro in Ciel d'oro in Pavia

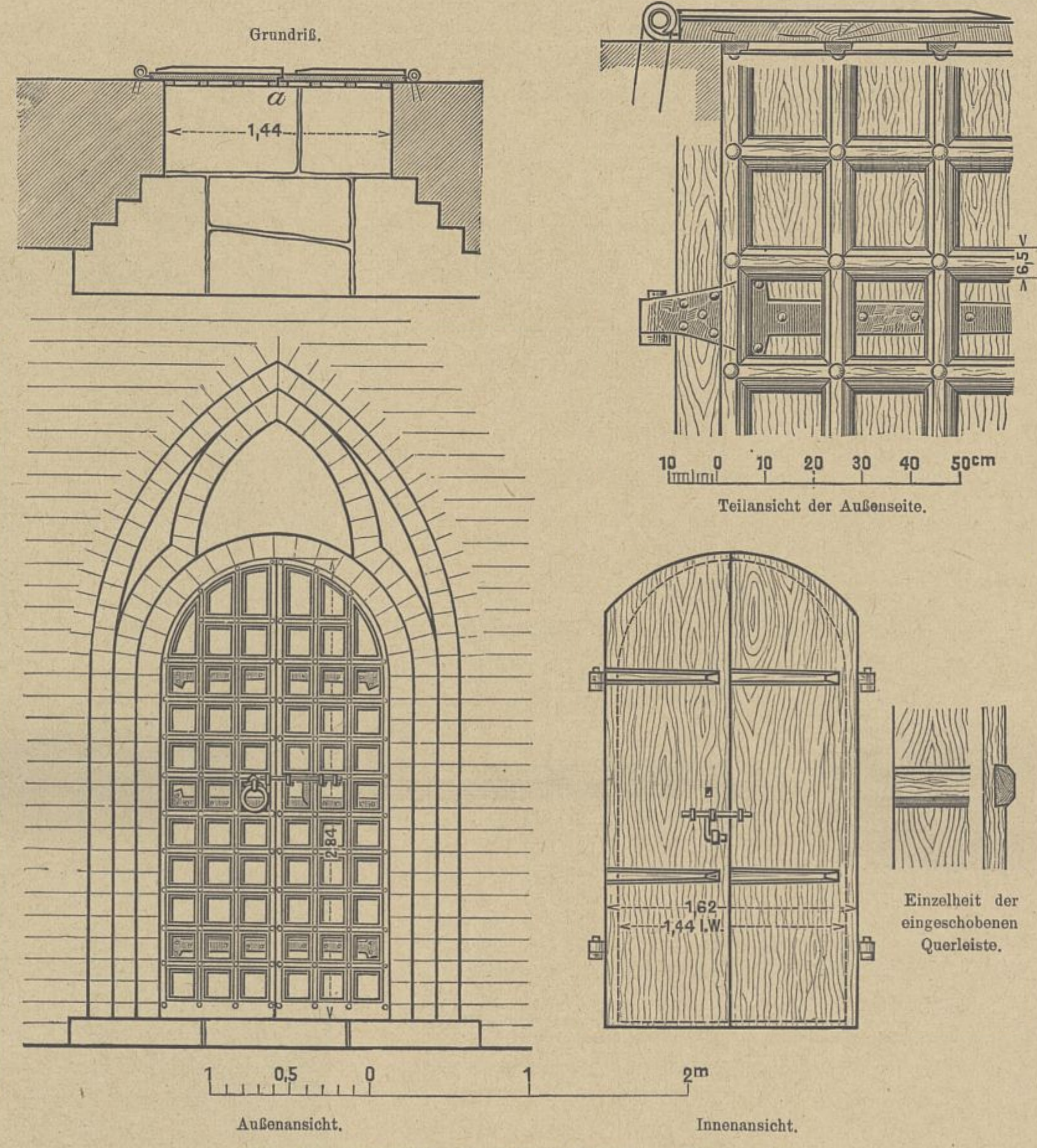


Abb. 6. Probstkirche in Oels in Schlesien. Eingangstür.

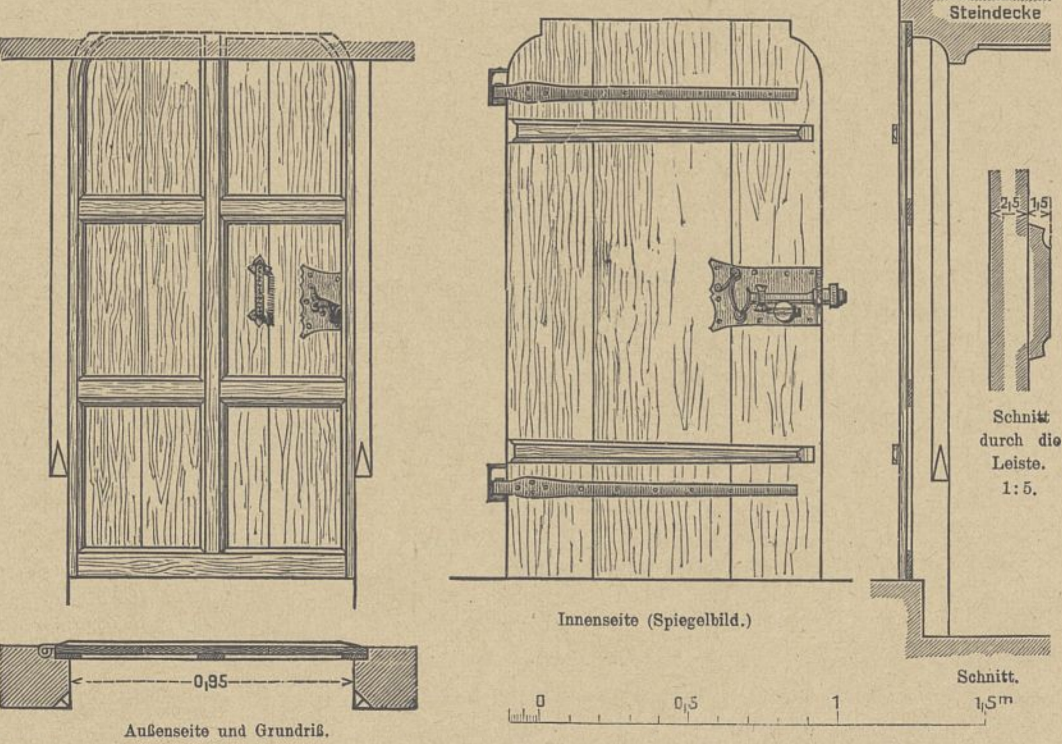
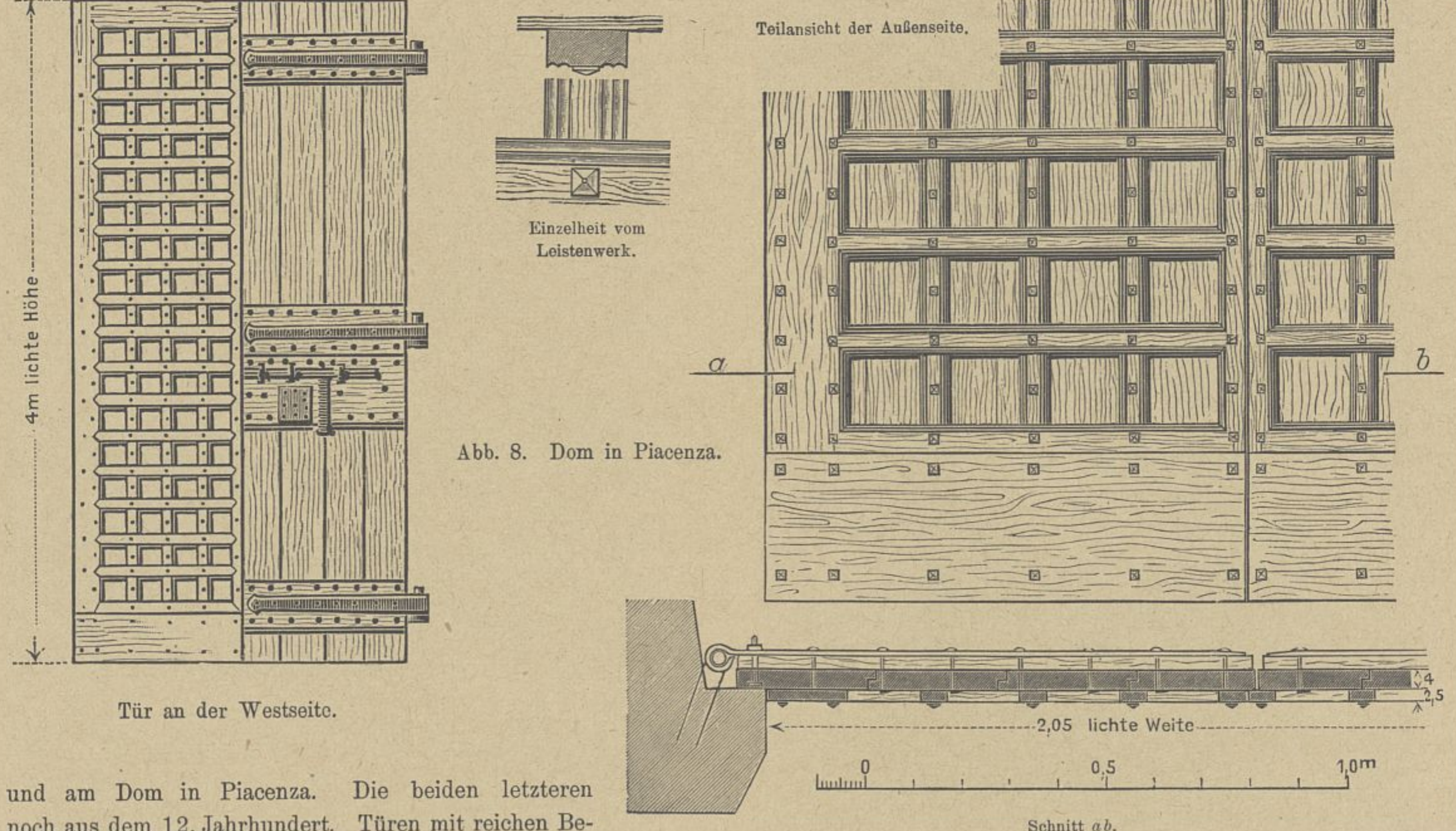


Abb. 7. Katholische Pfarrkirche in Schweidnitz. Innere Tür im südlichen Seitenschiff.



Tür an der Westseite.

Abb. 8. Dom in Piacenza.

Schnitt *ab*.

und am Dom in Piacenza. Die beiden letzteren noch aus dem 12. Jahrhundert. Türen mit reichen Beschlägen trifft man dort viel seltener. Die Bänder der italienischen Türen sind vielmehr meist ganz schlicht, gewöhnlich nur lange und breite Flacheisen, hin und wieder vielleicht in einer einfachen Rankenblume endigend. Da die Türen mit aufgenagelten Leisten hier schon vom frühesten Mittelalter an außerordentlich häufig vorkommen, ist anzunehmen, daß sie von Italien nach Frankreich und vor allem auch nach Deutschland herübergekommen sind. Diese Auffassung wird bestärkt bei der Erwägung, daß seit jeher auch auf anderen Gebieten des Bauschaffens, am stärksten wohl seit dem Ende des 11. bis in die Mitte des 12. Jahrhunderts italienische Einflüsse in Deutschland eingewirkt haben. Es sei hier u. a. an die Zwerggalerie und das Bauornament erinnert. Bei beiden ist oberitalienischer Einfluß oder die Mitarbeit italienischer Steinmetzen nachgewiesen. In einigen Teilen Deutschlands, u. a. im Deutschordensgebiet, haben italienische Einflüsse auf den verschiedensten Kunstzweigen noch viel länger, das ganze 13. und 14. Jahrhundert hindurch angedauert.

Um die oben ausgesprochene Annahme noch greifbarer zu machen, soll ein italienisches Werk, eine der westlichen Eingangstüren des Domes in Piacenza mit einem deutschen, der Eingangstür der Probstkirche in Öls, miteinander verglichen werden (Text-Abb. 6 u. 8). Trotzdem die Türen in Piacenza etwa 200 Jahre älter sind, ist die Ähnlichkeit beider in formaler Beziehung und auch in bezug auf das Werkgefüge auffallend. Bei beiden die Aufteilung in quadratische Felder an der Außenseite, wobei sogar die Größe dieser Felder fast die gleiche ist. Bei beiden an der Innenseite nur Querleisten und, soweit die Reste es erkennen lassen, derselbe Verschluß vermittels Rundriegel, die an ein aufgesetztes Schloß anzuschließen waren. Der wesentliche Unterschied ist nur der, daß die italienische Portalanlage gerade Sturze hat, während die Tür in Öls rundbogig geschlossen ist, ferner die Bänder in Piacenza nicht an der Außen- sondern an der Innenseite angebracht sind. Kleine Verschiedenheiten in der Technik, z. B. ein anderer Zusammenschnitt der Leisten, sind nur von ganz untergeordneter Bedeutung.

Bei Leistentüren erfolgt die Befestigung der Leisten auf die glatten Türtafeln durch Nagelung. Die Nägel erhalten breite, häufig auch verzierte Köpfe. Sie erfüllen also neben

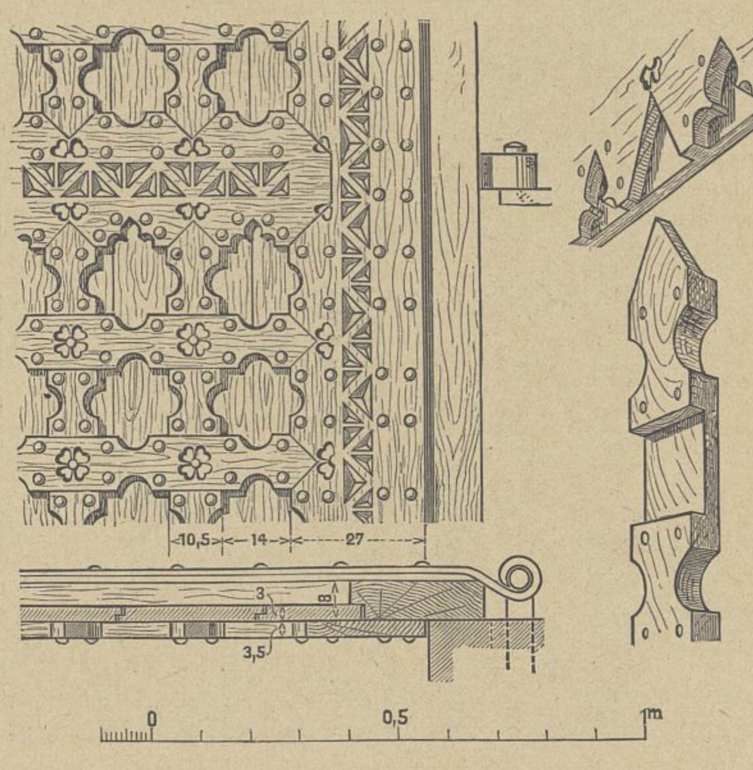


Abb. 9. St. Anastasia in Verona.
Teil der westlichen Eingangstür mit Einzelheiten.

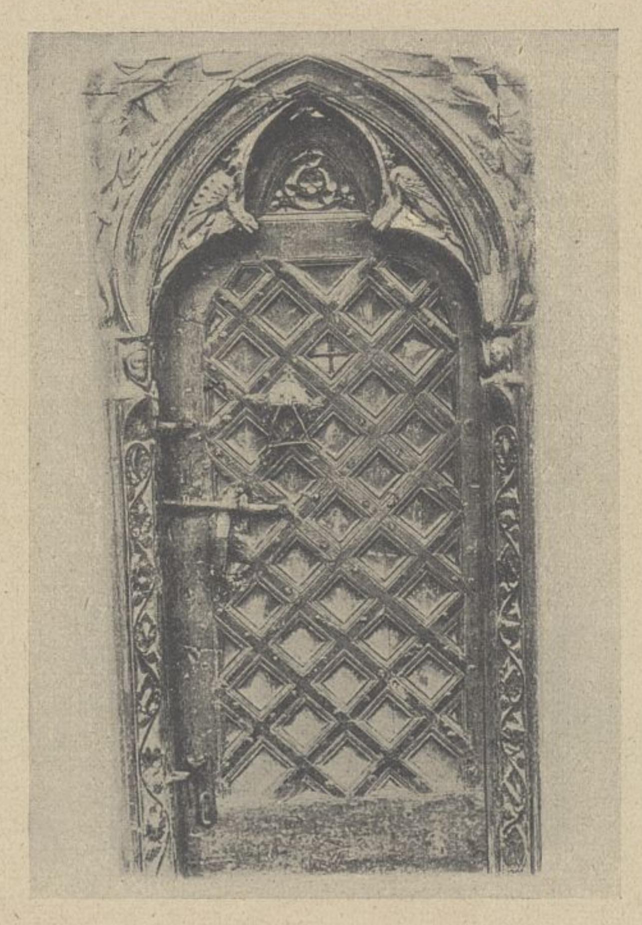


Abb. 10. Nikolaikirche in Stralsund. Sakristeitür.

ihrer rein konstruktiven auch eine dekorative Aufgabe, indem sie das Aussehen der Türen wesentlich bereichern. Das Zusammenfügen der Leisten kann auf verschiedene Weise erfolgen. Die senkrecht stehenden Leisten sind in einem Stück der Türhöhe entsprechend durchgeführt, während die wagerechten den Breiten der rechteckigen Felder entsprechend bei ungegliederten Leisten stumpf, bei gegliederten meist auf Gehrung eingefügt werden (Text-Abb. 6 u. 7). Dieselbe Form des Zusammenfügens kann auch in umgekehrter Weise erfolgen, so daß die wagerechten Leisten der Breite der Tür entsprechend durchgehen. Nur die beiden äußeren senkrechten Rahmenleisten wird man zweckmäßig stets durchführen.

Fester als das stumpfe Zusammenfügen wird die Verbindung durch Überblattung der senkrechten und wagerechten Leisten. Ein Beispiel bietet die Tür von St. Anastasia in Verona (Text-Abb. 9). Türen und Tore von großen Abmessungen pflegte man auch aus drei und mehr Holzlagen herzustellen. Diese Bauart wird in der Weise ausgesprochen, daß die eine Leiste über die andere hervorragt (Text-Abb. 11).

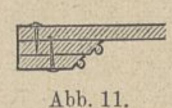
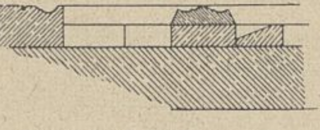


Abb. 11.

Während man in Italien an der Art der Aufteilung in kleinere Rechtecke oder Quadrate ziemlich starr festhält, diese Form sogar mit in die Renaissance hinübernimmt — es sei hier unter anderen an die schönen Türen im herzoglichen Palast in Urbino, sowie an einzelne Kirchentüren in Brescia (Text-Abb. 14 u. 15) erinnert, ist man in Deutschland und auch in Frankreich viel freier und mannigfaltiger. Neben



Schnitt durch das Leistenwerk. (Zu Abb. 13.)

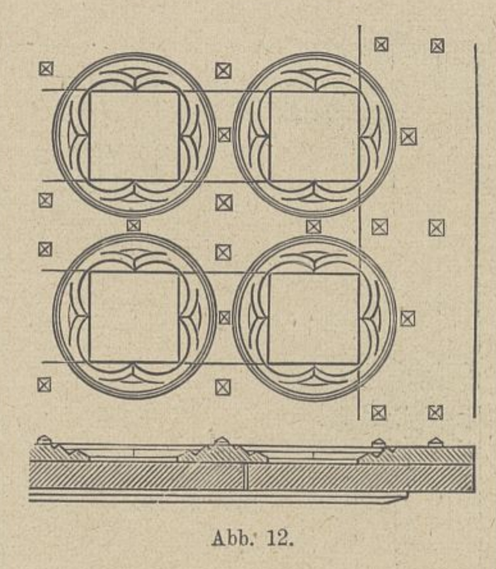


Abb. 12.

der Aufteilung in Quadrate und Rechtecke ergehen sich da die Leistentüren in allerlei anderen Motiven. So werden die quadratischen Felder mit Kreisen umschrieben, wodurch die Türen ein wesentlich anderes formales Aussehen bekommen (Text-Abb. 12). In Norddeutschland finden sich vielfach Aufteilungen in Rauten. Als Beispiele seien die Sakristeitür der Nikolaikirche in Stralsund (Text-Abb. 10), die Türen am Dom in Königsberg (Preußen) und an der Marienkirche in Danzig (Text-Abb. 13 u. 16) genannt. Die erstgenannten haben außerdem noch eine Belebung durch Vierpässe erhalten, die dem Leistenwerk unterlegt sind. Bei anderen Werken wechseln rechteckige Felder mit Rauten, Fünfecken und anderen Figuren ab. Derartige Aufteilungen zeigen u. a. Türen an der Johannis- und Jakobskirche

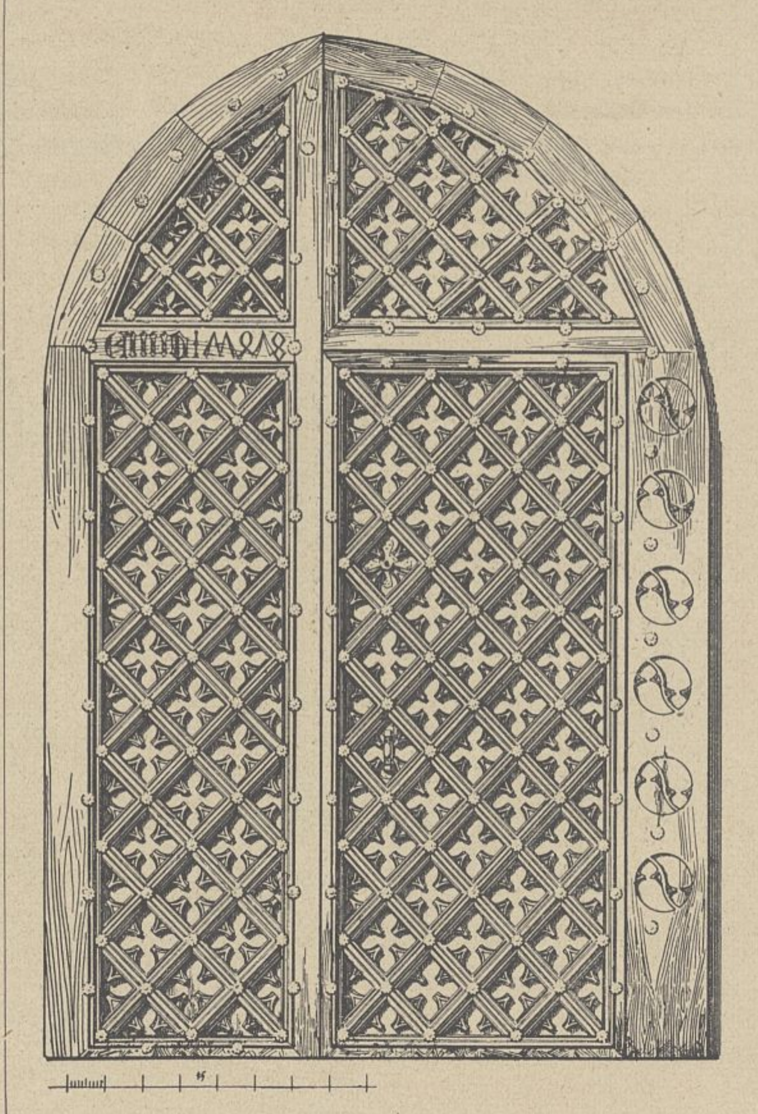


Abb. 13. Tür am Dom in Königsberg.



Abb. 14. Brescia. Portal del Carmine.



Abb. 15. Brescia. Portal vom Tempio Maggiore S. M. delle Grazie.

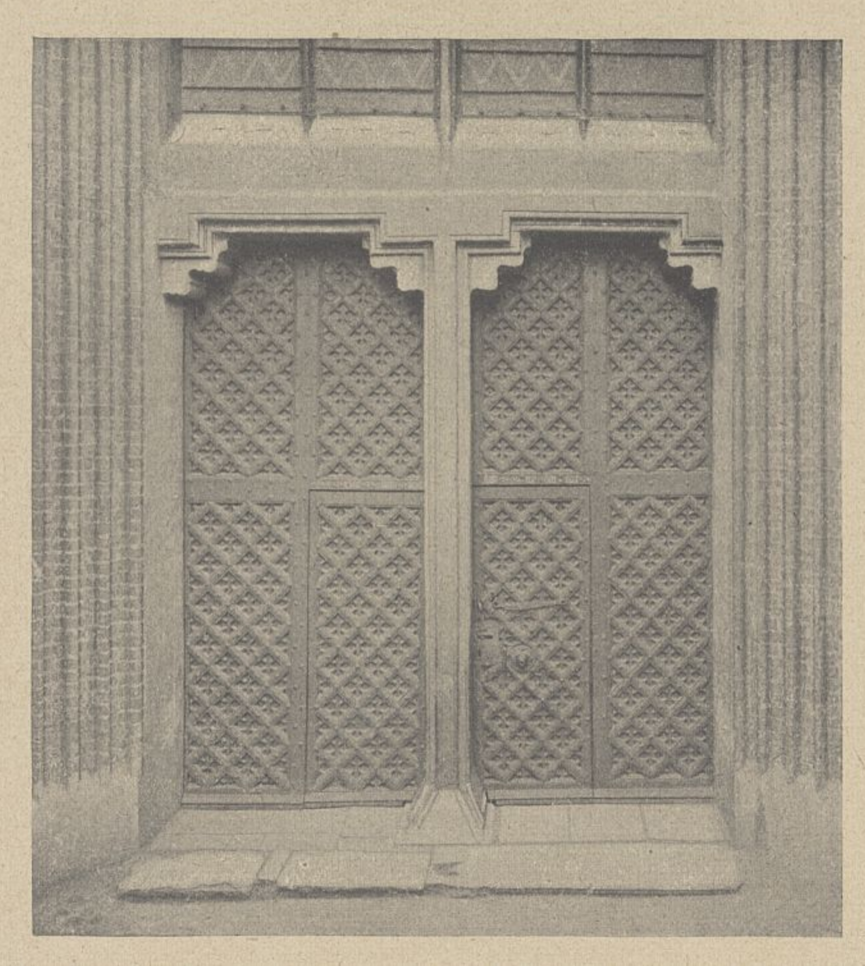


Abb. 16. Marienkirche in Danzig.

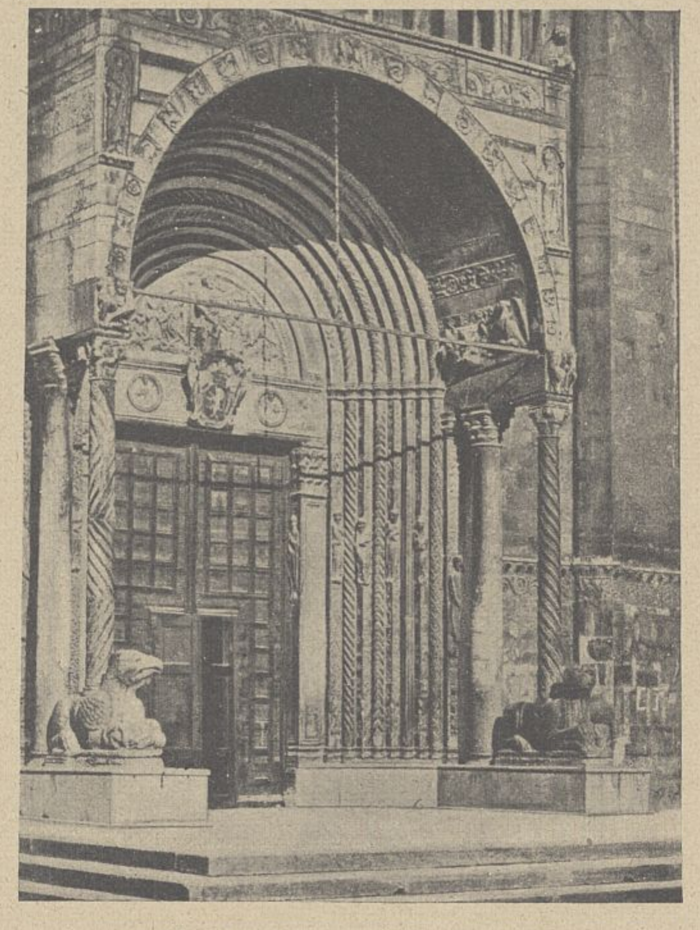
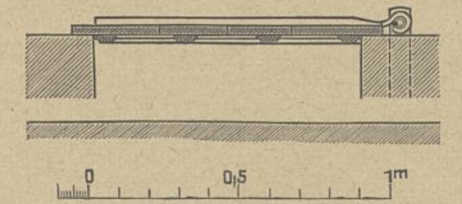
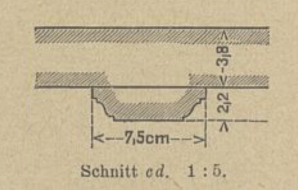


Abb. 17. Kathedrale in Verona. Haupteingang.



Außenseite.





Schnitt *cd*. 1 : 5.

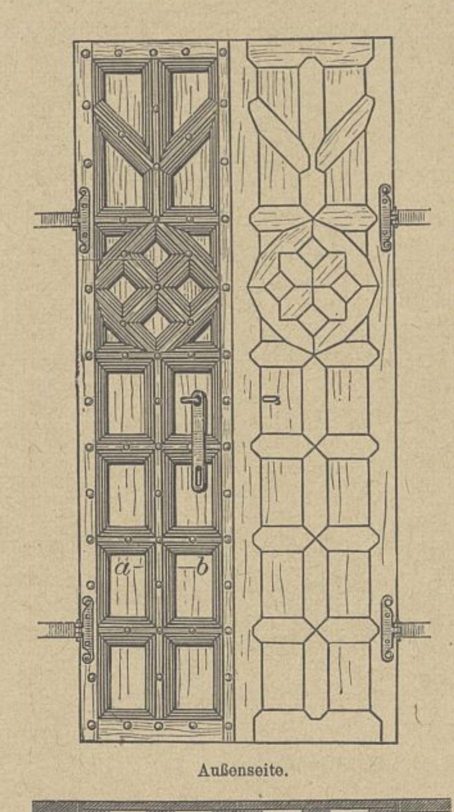
Abb. 18. Tür in der Stanislauskirche in Schwetz a. d. W.

in Thorn, Türen in Kulm a. d. W., Schwetz a. d. W. und an der goldenen Pforte des Hochschlosses der Marienburg. Die genannten Werke gehören dem 14. und 15. Jahrhundert an (Text-Abb. 18 u. 19).

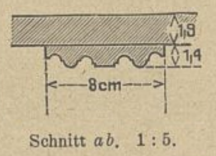
Der Schmuck durch Flachschnitzerei wurde bereits bei Besprechung der glatten Türen erwähnt. Er fand natürlich auch bei den mit Leisten versehenen Werken Verwendung. Am bekanntesten sind ja die dem Tiroler Kunstkreis angehörigen Schreinerarbeiten, bei denen nicht nur die Felder, sondern mehr noch das Leistenwerk mit Flachschnitzereien versehen wurde (Text-Abb. 20 u. 21).

Für die mit Schnitzereien versehenen Felder pflegte man häufig besondere Tafeln zu verwenden, die auf die hinteren Brettlagen aufgenagelt, z. T. aber auch von den darüber liegenden Leisten festgehalten werden. Beispiele aus dem 15. Jahrhundert zeigen eine Tür aus Bozen (Text-Abb. 22) sowie die obere Füllung der Chortür am Dom in Königsberg i. Pr. (Text-Abb. 23).

Die Türen mit aufgenagelten Leisten beanspruchen nun unsere ganz besondere Beachtung, denn aus ihnen haben sich im Laufe des 14. Jahrhunderts die Türen mit Rahmen und Füllung, die gestemmte Arbeit herausgebildet. Dies bedeutet gegenüber allem älteren Schreinerwerk insofern einen bedeutenden Fortschritt, als hier den Eigenschaften des Holzes, seiner Formveränderung, dem Arbeiten in noch viel wirkungsvollerer Form Rechnung getragen wird, als bei den oben bereits erwähnten verdoppelten und bei den Leistentüren. Dieser Behandlung liegt die Erkenntnis zugrunde, daß das Schwinden des Holzes quer zur Faserrichtung bedeutend und bei Tischlerarbeiten stets berücksichtigt werden muß, in der Richtung der Faser dagegen so gering ist, daß es unbeachtet gelassen werden kann. Seit ihrer Entstehung gegen Ende des 14. Jahrhunderts bis in unsere Tage hat die gestemmte Arbeit in der Schreinerei eine bedeutende Rolle gespielt und nicht nur bei Ausführungen von Türen, sondern auch bei Vertäfelungen, Möbeln und Geräten aller Art in ausgiebigstem Maße Verwendung gefunden. Selbst bei der keineswegs einwandfreien Annahme, daß diese Behandlungsart bereits im Altertum bekannt und in Italien nie außer Übung gekommen sei, darf doch als feststehend gelten, daß sie sich im Norden in Deutschland und in Frankreich selbständig und ohne Überlieferung erst im späteren Mittelalter herausgebildet hat. Für diese Annahme spricht die Tatsache, daß uns aus dem frühen Mittelalter nur genagelte Türen bekannt sind und ferner die ganz allmählich und stufenweise sich vollziehende Entwicklung von der genagelten zur gestemmten Arbeit. Ob nun diese Umbildung etwa ähnlich wie die gotische Baukunst sich zuerst in Frankreich vollzogen hat und dann von den übrigen



Außenseite.



Schnitt *ab*. 1 : 5.

Abb. 19. Wandschranktür der kathol. Pfarrkirche in Kulm a. d. W.

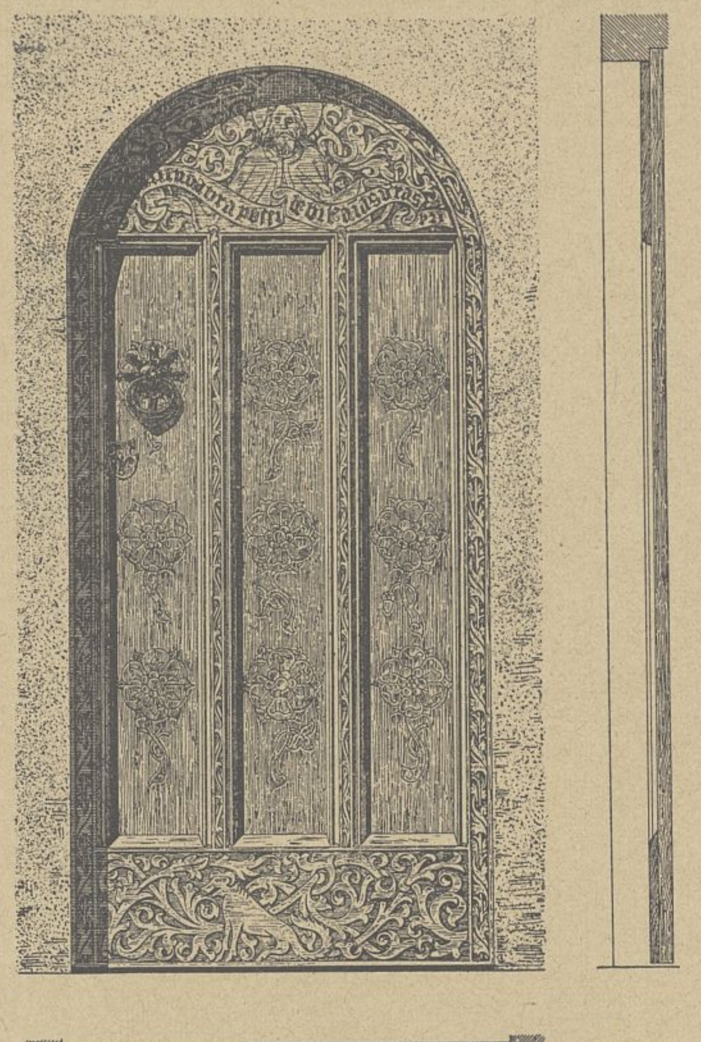




Abb. 20. Tür aus Neustift.
(Nach F. Paukert, Zimmergotik.)

Kulturländern des Abendlandes übernommen wurde, ist bei der Schwierigkeit der Zeitstellung der erhaltenen Werke kaum festzustellen. Bei der großen Rolle, welche das Holz als Baustoff in Deutschland zu allen Zeiten gespielt hat, kann man sich nur schwer zu der Auffassung durchringen, daß auch für diese Entwicklung Frankreich der gebende Teil gewesen sei. Es mag daher Zufall sein, daß die Stücke, an denen in nachstehendem die einzelnen Stufen der gestemmten Arbeit verfolgt werden sollen, Frankreich und dem französischen Sprachgebiet angehören.

Eine recht lehrreiche Übergangsform zeigt uns eine Tür in der Münzstraße in Metz aus dem Ende des 14. Jahrhunderts (Abb. 1 bis 7 Bl. 39). Sie ist in durchgehende, oben in Spitzbögen schließende Felder aufgeteilt. Hergestellt als einfache Brettertür von Brettern verschiedener Stärke, die so überfälzt sind, daß sie an der Innenseite bündig liegen. Das obere Querstück mit den eingeschnittenen Spitzbögen ganz wie bei den genagelten Türen mit den aufrechten Stielen durch Überblattung verbunden. Wenn hier auch an ein Zusammenhalten durch Rahmen noch nicht gedacht, auch der Formveränderung

Abb. 21. Tür aus Schloß Taufers.
(Nach F. Paukert, Zimmergotik.)

des Holzes noch nicht Rechnung getragen ist, so wird doch in den durch Falz verbundenen stärkeren und schwächeren Brettern das Rahmen- und Füllwerk bereits angedeutet. Zusammengehalten wird das Gefüge lediglich durch an der Innenseite angebrachte Querleisten.

Im Gefüge der Tür von Metz sehr ähnlich sind die Türen des nördlichen Eingangsportals von St. Remy in Reims, etwas jünger als die Metzer Tür, etwa aus dem Anfang des 15. Jahrh. (Abb. 1 bis 6 Bl. 40). Auch hier nur die senkrechten Stiele als Rahmhölzer ausgebildet, freilich mit dem Unterschiede, daß sie mit Nut und Feder und nicht durch einfachen Falz mit den Füllungen zusammengefügt sind. Die kurzen Querhölzer $q\,q$, die wie Querrahmen aussehen (Abb. 5 Bl. 40), sind den Füllungen nur aufgelegt und an die senkrechten Rahmen mit Versatz angeschnitten. Wir haben hier eine bemerkenswerte Mittelstufe von genagelten und Füllungstüren vor uns. Die Querstücke sowie die Quer- und Strebeleisten an der Rückseite noch völlig im Sinne der genagelten Türen, während die senkrechten Rahmhölzer mit den durchgehenden Füllungen schon an die gestemmte Arbeit gemahnen.

Auf einer fortgeschrittenen Stufe stehen die Westtüren der Kathedrale von Auxerre in Burgund aus dem 15. Jahr-

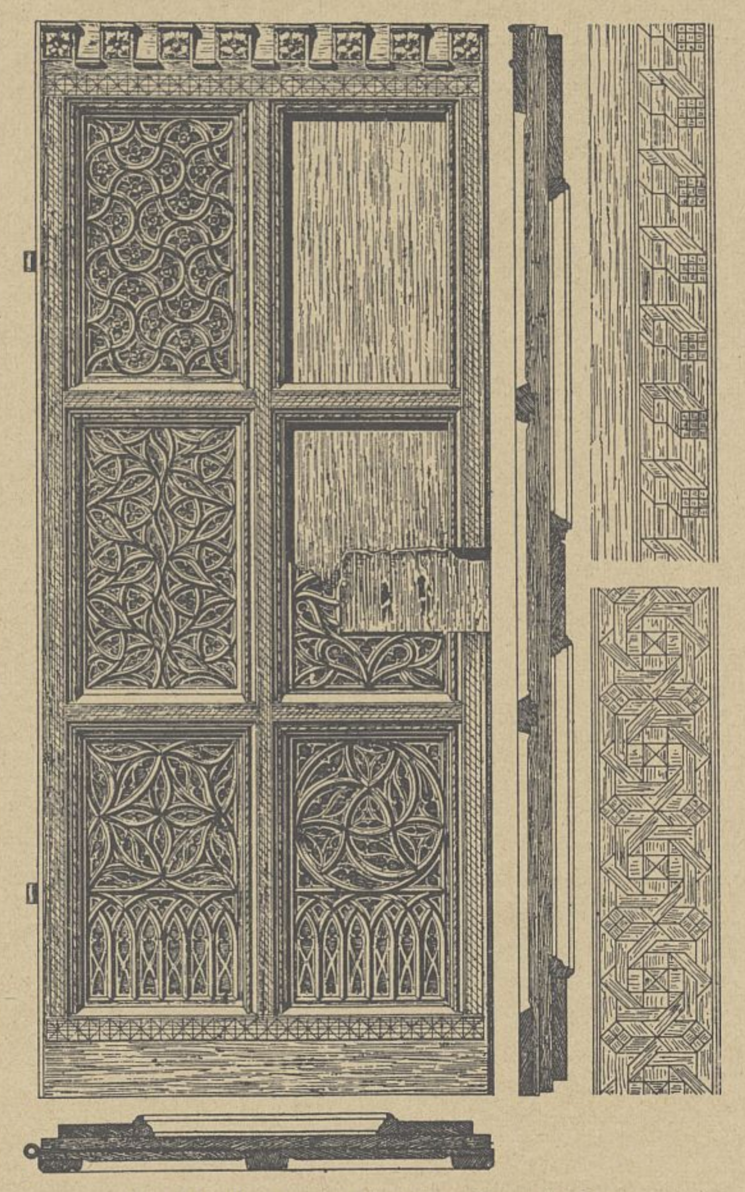


Abb. 22. Tür aus dem deutschen Hause in Bozen.
(Nach F. Paukert, Zimmergotik.)

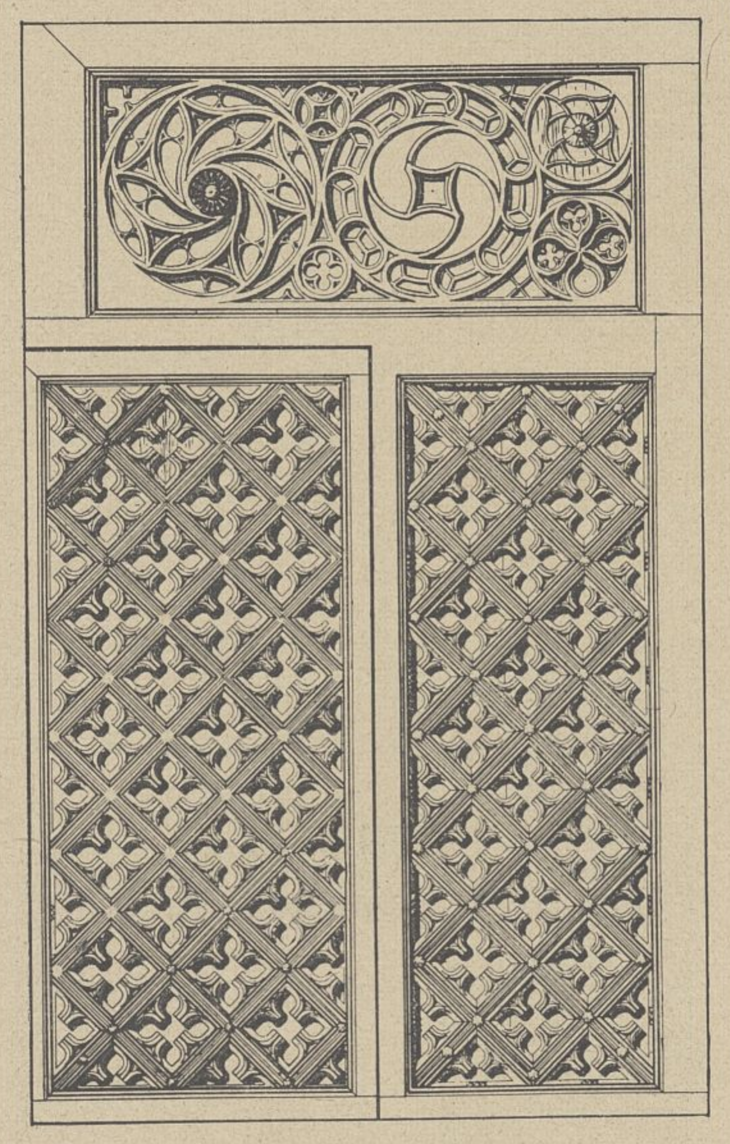


Abb. 23. Dom in Königsberg i. Pr.
Verbindungstür vom Chor zum Kreuzgang.

hundert (Abb. 7 bis 11 Bl. 40). Hier sind die Querstücke bereits als wirkliche Rahmen hergestellt und mit den senkrechten Rahmen durch Zapfen und Holznägel verbunden. Man hat jedoch auch diesen so zusammengefügten Teilen noch nicht getraut, sondern das Ganze durch an der Rückseite angebrachte Quer- und Strebeleisten sowie durch eiserne Bänder gefestigt. Die Rahmhölzer sind hier aus starken Bohlen zugerichtet und mit stumpf abgesetzten Zapfen zusammengearbeitet. Der Zusammenschnitt der reichen Profilierungen ist durch teilweises Überschieben erreicht.

Bei der in Text-Abb. 29 dargestellten Tür aus Tignemont bei Metz sind die Verstärkungsleisten an der Rückseite verschwunden. Das Gefüge wird lediglich durch die verzapften und vernagelten Rahmen zusammengehalten. Ganz entsprechend den Türen von Reims und Auxerre sind auch hier die Füllungen in Form von Spundungen so mit den Rahmen zusammengefügt, daß beides an der Innenseite bündig liegt. Es müssen hier demnach beim Zusammentrocknen der Füllungen offene Fugen entstehen. Ein verdecktes Arbeiten des Holzes ist also bei allen diesen Stücken noch nicht erreicht.

Die in den Text-Abb. 30 u. 33 und Abb. 8 bis 10 Bl. 39 dargestellten Türen aus Metz und Langres zeigen nun aber Rahmen und Füllungen so durch Nut und Feder verbunden, daß ein ungehindertes und verdecktes Schwinden oder Quellen der Füllungen möglich ist. Die Mängel der oben besprochenen Stücke sind hier völlig überwunden. Die Rahmen, an ihren Enden fest verbunden, verändern sich so gut wie gar nicht, während die Füllungen innerhalb ihrer Umrahmungen arbeiten können, ohne daß das Ganze eine Formenveränderung erleidet. Wir haben hier im wesentlichen die gestemmte Arbeit vor uns, wie sie auch heute noch in Übung ist.

Im nachstehenden lassen wir die einzelnen Stufen des Umbildungsvorganges nochmals kurz aufeinanderfolgen.

1. Glatte Brettertüren mit aufgenagelten oder eingeschobenen Querleisten und aufgenagelten Strebeleisten.

2. Aufgenagelte Zierleisten an der Vorderseite, Quer- und Strebeleisten an der Rückseite zum Zusammenhalten des Gefüges. Die (mittlere) Brettlage bildet den Füllungsgrund, während die Zierleisten den Rahmen darstellen. Eine lediglich genagelte Arbeit (Text-Abb. 24).

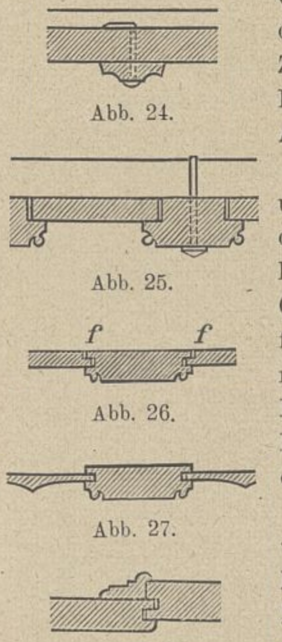


Abb. 24. Abb. 25. Abb. 26. Abb. 27. Abb. 28.

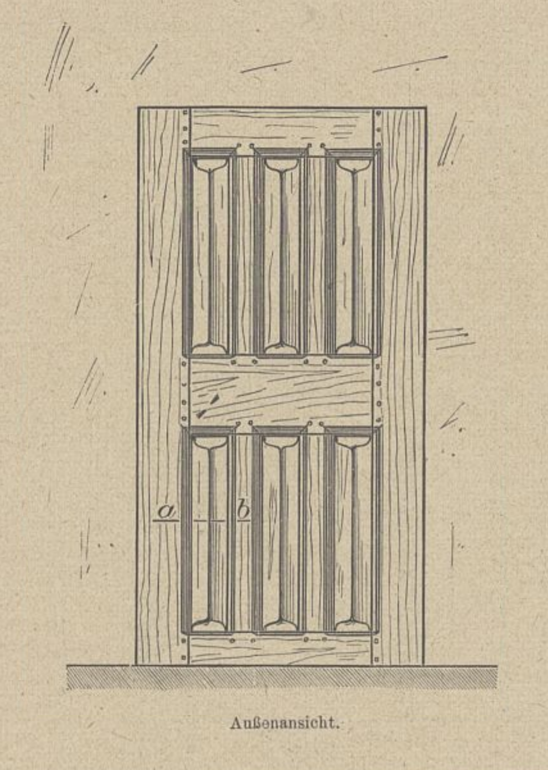
3. Anstatt der Zierleisten stärkere und schwächere Bretter so überfälzt, daß sie an der Rückseite bündig liegen. An der Rückseite angeordnete Quer- und Strebeleisten halten das Gefüge zusammen. Hier bilden gewissermaßen die stärkeren Bretter die Rahmen, die schwächeren die Füllungen. Die gestemmte Arbeit kündigt sich an (Text-Abb. 25).

4. Ein fest verbundenes Rahmwerk, in welches jedoch die Füllungen so eingefügt sind, daß beim Zusammentrocknen bei *ff* offene Fugen entstehen. Eine noch mangelhafte Form der gestemmten Arbeit (Text-Abb. 26).

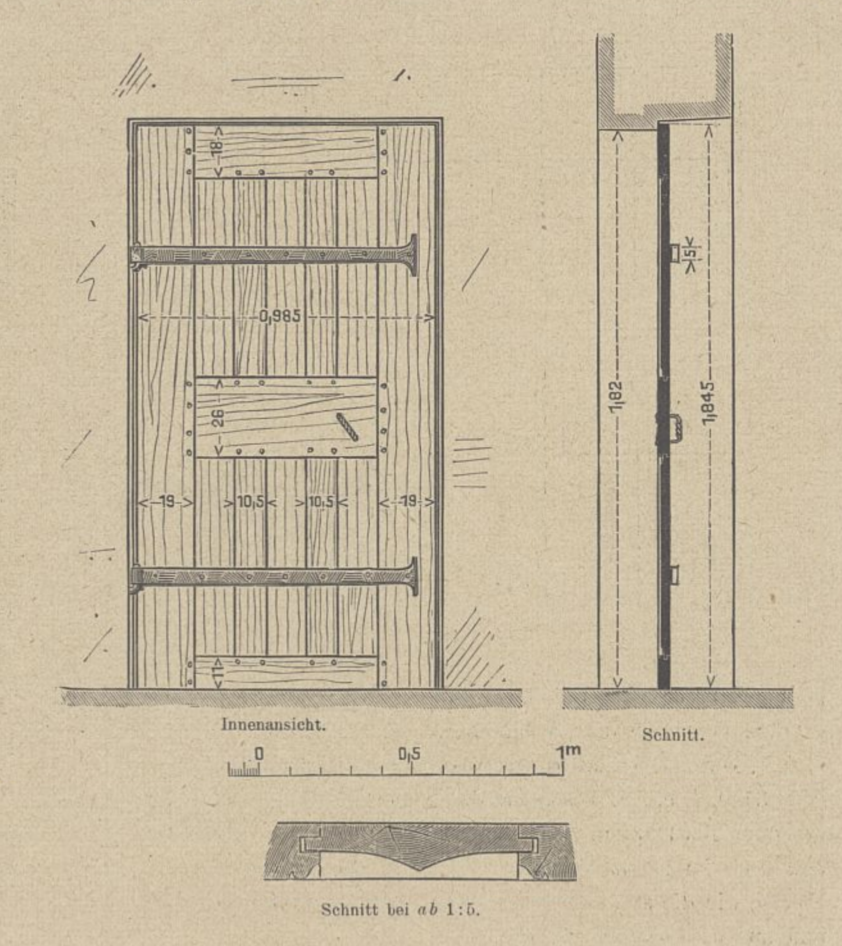
5. Rahmen und Füllung so verbunden, daß letztere sich ungehindert bewegen kann. Die fertige Form der gestemmten Arbeit (Text-Abb. 27).

6. Das verdeckte Arbeiten der Füllbretter wird auch durch Verwendung der sogenannten überschobenen Füllungen meist in Verbindung mit aufgeleimten Kehlstößen erreicht. Diese Lösung gehört jedoch bereits der Renaissance an. Vor dem Ende des 16. Jahrhunderts kommt sie nicht vor, fand aber dann später im 17. und 18. Jahrhundert ausgiebige Verwendung (Text-Abb. 28).

Da bei den genagelten Türen das Leistenwerk im wesentlichen nur eine schmückende Bedeutung besaß, brauchte auf ein festes Zusammenfügen der wagerechten und senkrechten Stücke kein allzu großer Wert gelegt werden. Die Türtafel war durch die an der Rückseite angebrachten Quer- und Strebeleisten genügend fest. Bei den gestemmten Türen, bei denen der Rahmen das ganze Gefüge zusammenhalten muß, erfordert dagegen die Verbindung der Rahmenstücke die allergrößte Aufmerksamkeit, von ihr hängt die Haltbarkeit und Festigkeit des ganzen Gefüges ab. Auch diese Verbindungsformen der Rahmen untereinander haben ebenso wie das Zusammenfügen von Rahmen mit Füllungen verschiedene Stufen der Entwicklung durchgemacht, ehe wir zu den heute üblichen Verbindungen mit gestemmten und ver-

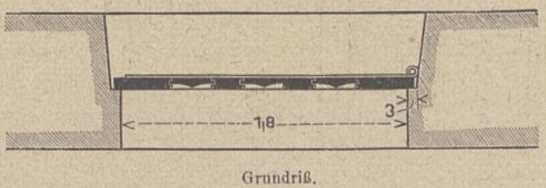


Außenansicht.



Innenansicht.

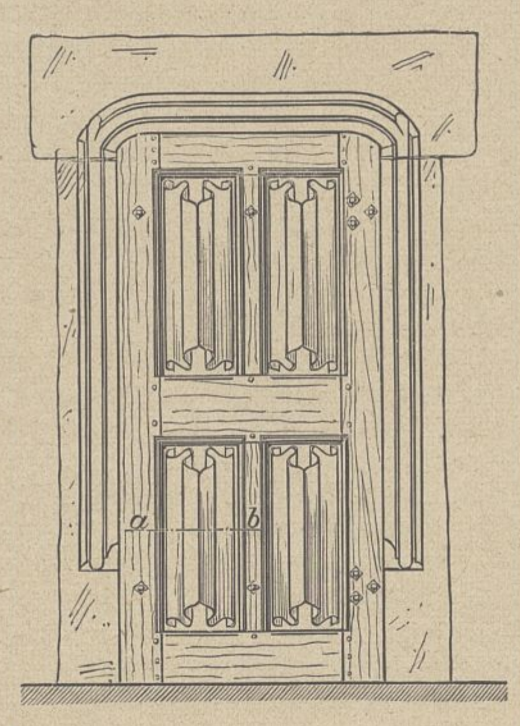
Schnitt.



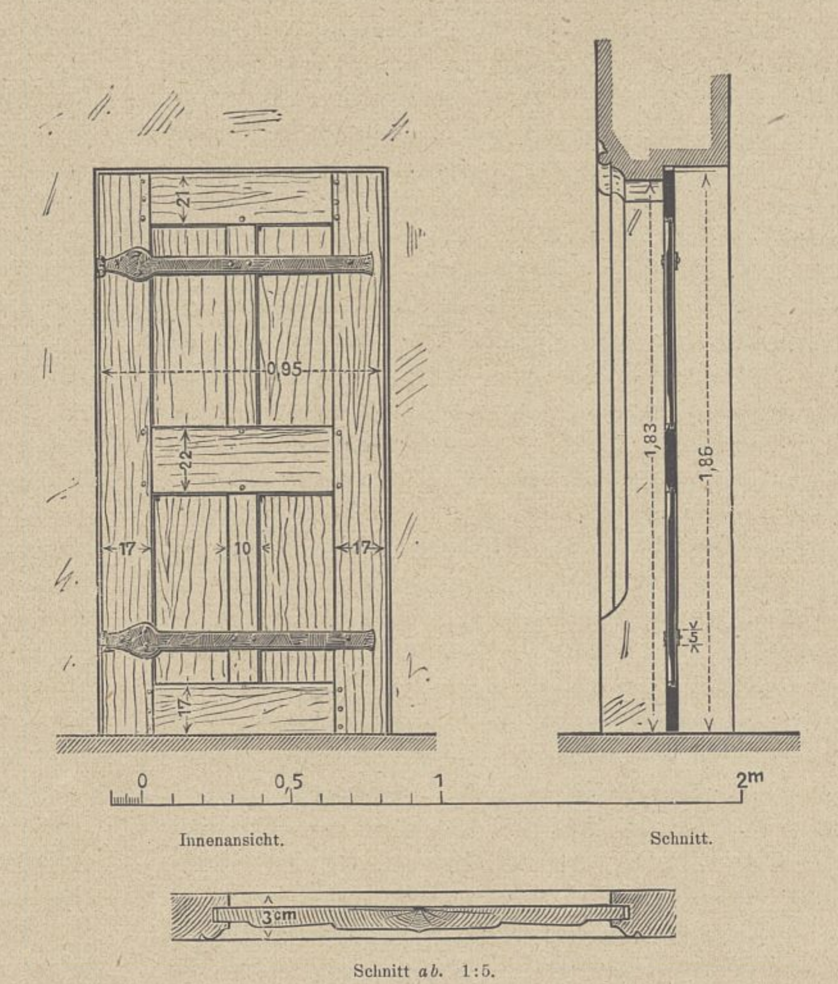
Grundriß.

Schnitt bei *ab* 1:5.

Abb. 29. Tür in einem Hause in Tignemont bei Metz.

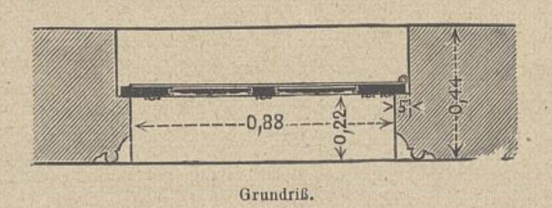


Außenansicht.



Innenansicht.

Schnitt.



Grundriß.

Schnitt *ab.* 1:5.

Abb. 30. Innere Tür im Hause Ludwigsplatz 50 in Metz.

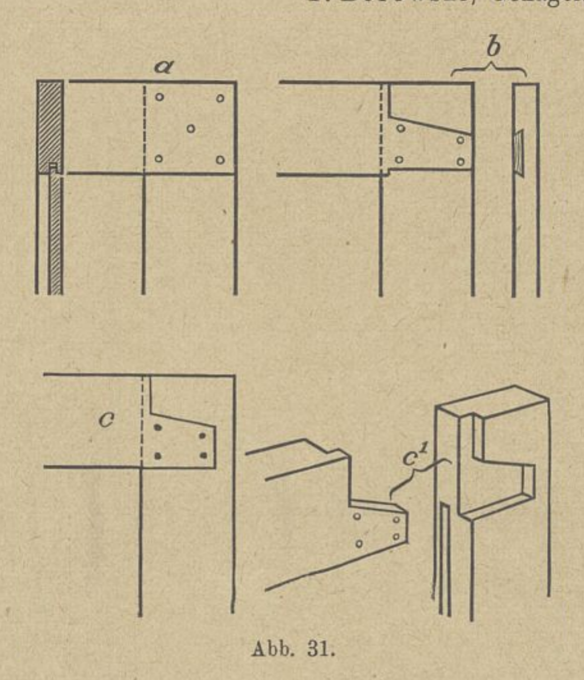


Abb. 31.

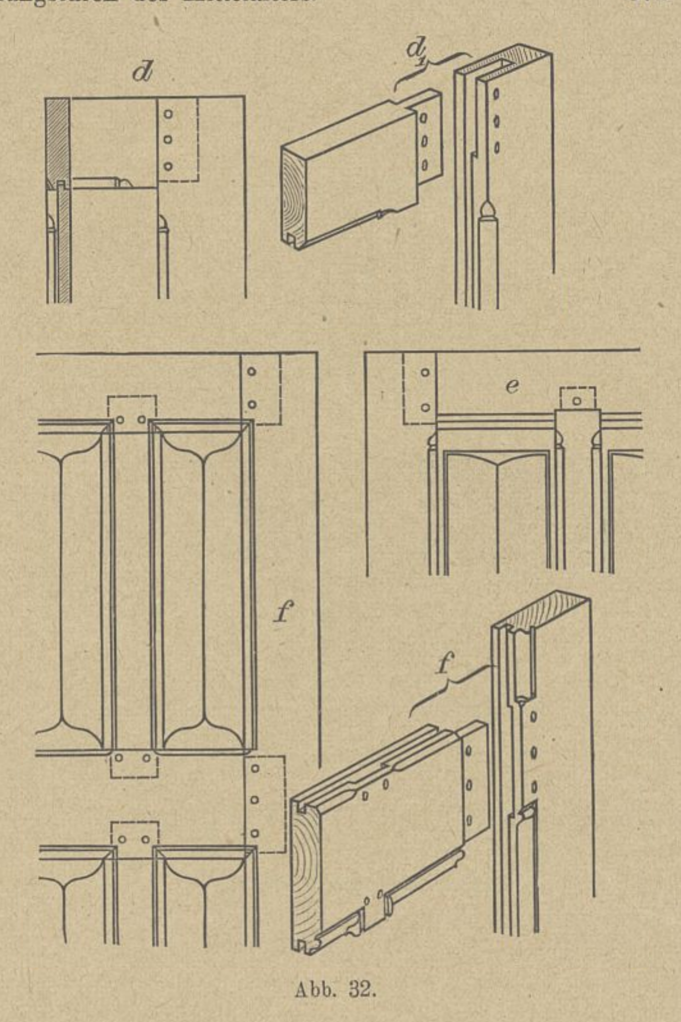


Abb. 32.

keilten Zapfen gelangt sind. — Die im Mittelalter am meisten gebräuchlichen Rahmenverbindungen sind folgende:

1. Durch Überblatten und Nagelung mit Holznägeln (Text-Abb. 31 a, b, c, c_1), besonders die gegen die obere Kante abgesetzten Blattzapfen. Abb. 31 b und c waren sehr verbreitet und noch im 18. Jahrhundert in Übung. Sie werden vielfach ebenso wie die eingeschobenen Querleisten nach vorn verjüngt und auf Grat eingeschoben.

2. Durch Zusammenstemmen und ebenso wie bei den Blattzapfen durch weitere Festigung mit Holznägeln. Die Zapfen gehen jedoch bei den gestemmten Arbeiten des Mittelalters nicht wie heute üblich durch die ganze Rahmenbreite hindurch, sie betragen vielmehr nur $^1/_3$ bis $^1/_2$ der Rahmenbreiten (Text-Abb. 32). Das Zusammenfügen erfolgt fast immer durch stumpf angeschnittene Zapfen. Ist jedes Rahmstück für sich profiliert, so daß die Profile vor den Ecken ablaufen (Text-Abb. 32 d u. d_1), oder laufen die wagerechten Rahmhölzer mit Profil gegen die senkrechten stumpf an (Text-Abb. 32 e), so sind stumpf gestemmte Zapfen das Gegebene. Wenn jedoch die Profilierungen um die wagerechten und senkrechten Rahmhölzer gleichmäßig herumlaufen, wäre ein Zusammenfügen auf Gehrung das Einfachere und Natürliche. Aber auch in diesem Fall werden die Rahmen stumpf gestemmt (Text-Abb. 32 f u. f_1), und zwar derart, daß an das durchgehende bzw. an das mit einem Zapfenloch versehene Rahmstück die Gehrung des Profils angearbeitet ist, die mit Zapfen versehenen Stücke können dann stumpf dagegen anlaufen (Text-Abb. 32 f). Es muß auffallen, weshalb man hier nicht das Zusammenarbeiten auf Gehrung bevorzugte, um so mehr, da diese Art des Zusammenfügens bei den profilierten Leisten der genagelten Türen längst bekannt war. Daß dennoch an diesen Rahmenverbindungen recht lange festgehalten wird, liegt m. E. daran, daß hierbei neben den genagelten Arbeiten älterer Verschreinerungen auch die Verbindungen des Holzbaues die Vorbilder abgaben. Die Zapfen und Holznägel, welche die Stiele und Riegel der Fachwände und die Verbandhölzer der Dachgespärre zusammenhalten, werden auch für die Verbindung der Rahmenhölzer der gestemmten Arbeiten des Mittelalters übernommen. Hier im Zimmerhandwerk lag für alle Länder nördlich der Alpen wenigstens ganz sicher die ältere und stärkere Überlieferung vor, die erst ganz allmählich überwunden wurde. Beide Handwerkzweige, das Zimmer- und das Schreinerhandwerk, zeigen das ganze Mittelalter hindurch in bezug auf ihre Gefüge die engsten Beziehungen. Die ausgesprochenen schreinermäßigen Verbindungen, das Zusammenstemmen der Rahmhölzer mit durchgehenden Zapfen unter Anwendung von Holzkeilen und Leim, die ausgiebige Verwendung von Leim zur Verbindung einzelner Teile, wie Aufleimen von Kehlstößen, Zusammenleimen einzelner Bretter, sowie das Absperren zur Herstellung breiterer Tafeln und Füllungen kam erst viel später, eigentlich erst im Laufe des 17. und 18. Jahrhunderts auf. Bei den gestemmten Arbeiten des Mittelalters bestanden die einzelnen Füllungen aus einem Brett. Man hielt sich sogar an die gewöhnlichen Brettbreiten, die zwischen 16 und 30 cm schwankten.

Im engen Anschluß an die Verbindungen des Holzbaues haben sich, wie im vorstehenden gezeigt, die gestemmten Türen aus dem Gefüge der genagelten entwickelt. Sehr deutlich zeigt dies auch die künstlerische Durchformung oder Ausstattung mit Zierat. Die Anordnung der Leistenaufteilung bei den genagelten Türen, besonders wenn es sich um die am häufigsten vorkommenden Fälle um Aufteilung in rechteckige und quadratische Felder handelt, entspricht dem Rahmen- und Füllwerk der gestemmten Arbeiten. Die auf Text-Abb. 7 u. 20 bis 22 dargestellten Leistentüren könnten ihrer Leistenanordnung nach ebensogut Füllungstüren sein. Aber auch die Leistengliederungen sind im wesentlichen die gleichen wie die der Rahmen bei den Füllungstüren. Bei einfacheren Werken sind die Rahmen in recht mäßiger Stärke von 3 und 4 cm hergestellt. Durchschnittlich schwächer wie bei den heutigen Zimmer-

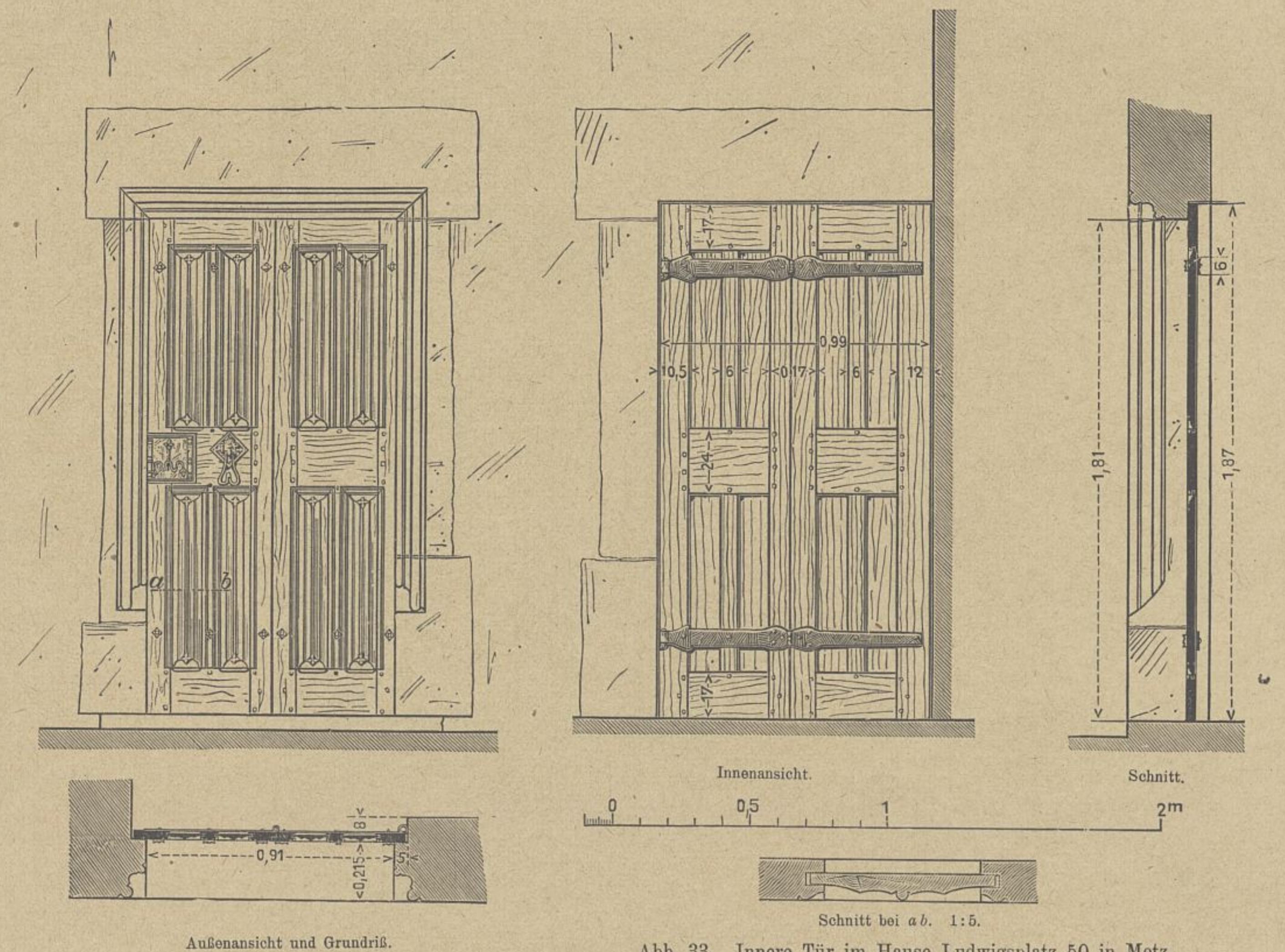


Abb. 33. Innere Tür im Hause Ludwigsplatz 50 in Metz.

türen können sie gegen die Füllungen auch nur durch flache Profile abgesetzt werden. Das Ganze erscheint daher sehr flächig und linear empfunden. Bei reicheren Werken wird jedoch ein stärkerer plastischer Gegensatz zwischen rahmenden und füllenden Teilen angestrebt. Man sucht die Aufgabe des Rahmenwerks, das Einrahmen und Zusammenhalten des Ganzen, stärker zum Ausdruck zu bringen. Die Rahmenhölzer dieser reicheren Werke werden dann aus starken Bohlen hergerichtet und können demensprechend eine wirkungsvollere, mehr in die Tiefe gehende Profilierung erhalten. Die im anderen Zusammenhange bereits genannten Türen von Auxerre und Langres sind auch hierfür kennzeichnende Belege. Schöne Türen dieser Art, z. T. schon dem 16. Jahrhundert angehörend, befinden sich ferner in der Metzer Kathedrale. Ein ganz reiches Werk ist die Portalanlage des südlichen Querschiffes der Kathedrale in Beauvais (Text-Abb. 34). Die Umrahmung ist hier zu einem reichen Pfostenwerk durchgeformt, das nach oben hin in Figürchen mit Baldachinbekrönungen ausklingt und mit den Füllungen, die in ähnlicher Weise mit figürlichem Schmuck versehen sind, ein wundervolles Ganzes bildet.

Bei den Füllungen tritt gegenüber den Feldern der Leistentüren etwas Neues auf, das zu eigenartiger Durchformung herausforderte, nämlich die Zuschärfung nach den Kanten bzw. der Umstand, daß die Füllungen nach der Mitte zu stärker sein können. Wie diese aus dem Gefüge sich ergebende Form künstlerisch ausgebeutet wurde, mögen die Text-Abb. 29, 30 und 33 erläutern. Die heute allgemein üblichen abgeplatteten Füllungen tragen in recht nüchterner und einseitiger Weise diesem Konstruktionsgedanken Rechnung. Auch war es üblich, die Füllungen mit Flachschnitzereien meist in frei behandelten Maßwerkformen zu versehen. Diese Schmuckformen waren entweder aus den eigentlichen Füllungen (Text-Abb. 33 u. 34) ausgestochen, oder es wurden die mit Schnitzereien versehenen Stücke besonders gefertigt und den eigentlichen Füllungen aufgelegt, wie wir es in entsprechender Weise bereits bei den genagelten Arbeiten kennen gelernt hatten.

Der Anschluß an die Wand erfolgte im Holzbau meist in einem Falz der aufrecht stehenden Stiele. Der Verschluß konnte dabei ein ziemlich dichter sein. Auf einen dichten Anschluß an das Mauerwerk bei massiven Wänden wurde im Mittelalter nicht der Wert gelegt wie in unseren Tagen. Futterrahmen bei Türen kannte man zunächst gar nicht. Alle Türen, sowohl äußere wie innere, schlugen stumpf vor die Wand, oder wenn es sich um Werksteingewände handelte, allenfalls in einen Steinfalz. Bei Innentüren kamen wohl zuerst auch bei massiven Wänden die Futterrahmen auf. Sie wurden teils sichtbar gelassen, teils auch mit einer Verbretterung versehen. Anregung und Ausgang hat ihre Anordnung sicherlich von den Blendrahmen der Fensterflügel gefunden. Hier machte sich das Bedürfnis nach einem dichten Verschluß viel mehr fühlbar, und hier ist auch die Einführung der Futterrahmen älter als bei den Türen.

M. E. geht man heute in der Anwendung von Futterrahmen viel zu weit. Bei Außentüren, die einen Flur oder



Abb. 34. Kathedrale in Beauvais. Südliches Querschiffsportal.

eine Einfahrt abschließen, können sie ganz entbehrt werden, da diese Türen wegen des Verkehrs meist den ganzen Tag hindurch offen stehen. Der Fortfall dieser Stücke würde außerdem noch eine erhebliche Baukostenersparnis bedeuten, was gerade heute zugunsten der zu fordernden sparsamen Bauweise eine gebührende Beachtung verdient. Diese alte Gepflogenheit, bei Außentüren auf besondere Blindrahmen zu verzichten, hat sich, von einigen Gebieten des Backsteinbaues abgesehen, in vielen Gegenden fast das ganze 18. Jahrhundert hindurch erhalten. Selbst die sonst mit dem größtem Aufwand an Pracht hergestellten Tore und Haupteingangstüren von öffentlichen Gebäuden jeder Art ebenso wie die mit allem „Komfort" der Zeit eingerichteten Privathäuser früherer Jahrhunderte kannten die Blindrahmen bei Außentüren nicht.

Die Renaissance und die ihr folgenden Stilzeiten sind die Erben der mittelalterlichen Schreinerkunst. Eigentlich alle im Mittelalter verwendeten Türkonstruktionen sind auch heute noch in Übung. Besonders die gestemmte Arbeit fand man als etwas Fertiges vor. Trotz mancher Verfeinerung in den Einzelheiten des Handwerks und der großen Schönheit, die vielen Werken der Renaissance und des Barocks eigen ist, möchte man ihnen doch nicht jene geradezu klassische und schulbildende Bedeutung beimessen wie den Werken des Mittelalters. Das Stoffgerechte und Werkmäßige erscheint vielfach zugunsten rein schmückender und plastischer Wirkungen zurückgedrängt. Es werden in der Renaissance und in noch höherem Maße im Barock dem Holz Formen aufgezwungen, die eigentlich dem Werkstein und anderen Baustoffen zukommen. Je vollkommener sich die technische Meisterschaft im Zusammenfügen von Holzteilen zu einem Ganzen entwickelte, desto mehr machte man sich von allem Zusammenhange mit dem Gefüge frei. Beim Rokoko schließlich verschwinden überhaupt alle Rücksichten auf das Gefüge, alle stoffliche Gebundenheit scheint aufgelöst. Wenn auch das Schaffen unserer Zeit von ganz anderen Voraussetzungen ausgeht, von einem völlig anders gerichteten Kunstwillen beseelt ist, so dürfen dennoch auch bei dem Ringen nach ganz neuen Ausdrucksformen die stofflichen Bedingungen und Gebundenheiten nie völlig vernachlässigt werden. Wie auf so vielen Gebieten mittelalterlichen Kunstschaffens wird auch in dieser Beziehung für alle Zeiten und unabhängig von allen Geschmacks- und Stilrichtungen das werktüchtige Schreinerhandwerk des Mittelalters Lehrer und Vorbild sein können.

Bemerkung: Die zeichnerischen Aufnahmen sind, mit Ausnahme von Text-Abb. 2, welche Geh. Baurat Dr. Steinbrecht in Marienburg, und Text-Abb. 13 u. 23, welche Stadtbauinspektor Müller in Breslau freundlichst zur Verfügung gestellt hat, sowie der Text-Abb. 20 bis 22, die dem Werke Paukert, Zimmergotik entnommen sind, vom Verfasser gefertigt worden.

Über die zweckmäßigste Anordnung der äußeren Hafendämme von Seehäfen an sandiger Küste

mit Rücksicht auf den Einfluß, den die auf die Umgestaltung der Ufer einwirkenden Naturkräfte ausüben, unter besonderer Betrachtung der Verhältnisse an der deutschen Ostseeküste.

Vom Regierungs- und Baurat Dr.-Ing. Heiser in Swinemünde.

(Mit Abbildungen auf Blatt 41 bis 45 im Atlas.)

I. Allgemeines über die Anlage von Häfen.

1. Art und Zweck von Hafenaußenwerken sowie allgemeine maßgebende Gesichtspunkte für ihre Anordnung. Von allen Teilen eines Hafens sind die weit in die See hinein vorgeschobenen Hafenaußenwerke den Angriffen des Seeganges, sowie den Strömungen in erster Linie ausgesetzt. Sie dienen je nach ihrer Bestimmung und Verwendungsart entweder als Wellenbrecher gemäß ihrem Namen lediglich zum Abhalten großer Wellen, starken Seeganges, vom Hafen, oder gleichzeitig als Molen zum Anlegen von Schiffen, oder auch als Leitdämme zur Festlegung des Fahrwassers und Leitung des Spülstromes eines Wasserlaufs.

Ihr eigentlicher Zweck besteht kurz darin, im Interesse der Schiffahrt den für die Hafeneinfahrten und für die Hafenflächen nötigen Schutz zu gewähren. Um diesen Zweck einigermaßen erfüllen zu können, erfordern die Hafenaußenwerke für die Wahl ihrer Anordnung und ihrer Bauart ganz besondere Sorgfalt und Überlegung. Von ihrer zweckmäßigen Lage und von ihrem festen baulichen Bestande hängt für einen Hafen die Möglichkeit seiner uneingeschränkten Benutzung und damit auch die Sicherheit der in ihm liegenden Schiffe im höchsten Grade ab.

Maßgebend für die Anordnung dieser Hafenaußenwerke ist vor allem einerseits die Gestalt der in Frage kommenden Küstenlinie und anderseits die Beschaffenheit der Küste selbst. Die bauliche Form und Art der Werke dagegen wird durch das Ergebnis der an Ort und Stelle vorzunehmenden Untersuchungen der Erdschichtung, der Wasserverhältnisse und des Wetters beeinflußt.

2. Lage der Hafeneinfahrt. In weiterer Hinsicht ist für eine geschickte Linienführung der Hafenaußenwerke die günstigste Wahl einer zweckmäßigen Lage der Hafeneinfahrt ganz besonders wichtig. Gerade die Güte ihrer Anordnung, ihre richtige Lage zu allen Teilen des Hafens, ihre Richtung zu der des heftigsten Seeganges, sowie ihre Form und Weite ist von größtem Einfluß auf die Zugänglichkeit eines Hafens. Die Hafeneinfahrt muß sowohl den ein- und auslaufenden Schiffen eine vollkommen gefahrlose Fahrt gewährleisten, als auch die Versandung der Hafenmündung verhüten.

Im einzelnen sind alle die wichtigen Gesichtspunkte für die Anordnung und Ausbildung von Hafeneinfahrten nach den an offenem Meere liegenden Häfen, deren Mündungen noch heftigen Wellen ausgesetzt sind, und um die es sich hier lediglich handeln soll, von Thomas Stevenson in acht Regeln zusammengefaßt und u. a. im Handbuch der Ingenieurwissenschaften angeführt. Daher erübrigt sich hier ihre Wiederholung.

Zur Beachtung dieser Regeln sind beim Entwurf eines Hafens vor allem gründliche und sorgfältige Vorarbeiten durchzuführen. Sie müssen im wesentlichen bestehen in Feststellungen über die Richtung der Küstenstrecke zu den Winden, Wellen und Strömungen, über die Gestaltung der Küste selbst, ob sie flach oder steil ist, über die Beschaffenheit des Untergrundes, über die Wetterverhältnisse, über die Wasserstände, die Winde, Wellen und Strömungen, und endlich über die Mittel zur Erhaltung der Tiefe usw.

Meist müssen bei Erwägung aller dieser Fragen die eigentlichen baulichen Rücksichten gegen die erforderlichen schiffahrtlichen zurücktreten. Insofern geschieht das mit vollem Recht, als sich mit gewissem Kostenaufwand auch große, rein bauliche Schwierigkeiten erfolgreich überwinden lassen, während auftretende Mängel in der allgemeinen Anordnung des Hafens, namentlich einer sicheren Einfahrt und der damit verbundenen weiteren Anforderungen mit keinerlei Mitteln wieder beseitigt werden können.

Aber gerade das Einlaufen der Schiffe in einen Hafen verlangt ganz besondere Rücksichtnahme, weil es sehr viel wichtiger ist, als das Ausgehen aus dem Hafen. Schiffe, die einlaufen wollen, sind bei stürmischem Wetter in der Nähe des Hafens oft außerstande, die hohe See wiederzugewinnen. Sie müssen daher entweder scheitern oder den Hafen erreichen, während die im Hafen befindlichen Schiffe das Nachlassen des Sturmes abwarten können. Das Auslaufen steht zudem auch mehr im Belieben der Schiffer als das Einlaufen. Für letzteres ist, besonders in Häfen mit ungünstiger Rhede und nur kurzer Hochwasserdauer, die Zeit, während der ein solches überhaupt und nur allein stattfinden kann, oft höchst kurz und beschränkt. Not-Schutz- oder Zufluchthäfen müssen natürlich jederzeit zugänglich sein und gerade bei den stärksten Stürmen stets ein sicheres Einlaufen ermöglichen. Dagegen wird bei manchen bedeutenden Handelshäfen, deren Lage durch wichtige wirtschaftliche Gesichtspunkte bestimmt ist, auf ihre Zugänglichkeit zur Zeit der stärksten Stürme geringere Rücksicht genommen. Sie sind oft schon lebensfähig, wenn sie nur während weniger Stunden täglich angelaufen werden können.

3. Eignung der Küsten für Anlage eines Hafens. Für den Bestand eines jeden Hafens sind allgemein die ortbeschreibenden, die natürlichen, sowie die Wind- und Wetterverhältnisse seiner Umgebung maßgebend.

Am geeignetsten zur Herstellung eines Hafens erweisen sich naturgemäß stark gegliederte Steilküsten, die durch feste Gebirgsarten gebildet werden und die frei von wandernden Geschieben oder wenigstens nur in geringerem Grade der Versandung ausgesetzt sind, die mithin eine nahezu unveränderte Küstenlinie aufweisen. Sie sind am sichersten und gefahrlosesten, haben an Stellen, wo sich Schutz gegen Wind findet, die besten Häfen und erweisen sich daher der Schiffahrt am günstigsten. Unter solchen Bedingungen würde die Anlage eines Hafens, was die Anforderung an Ruhe und

Sicherheit in ihm selbst betrifft, verhältnismäßig die wenigsten Schwierigkeiten bieten.

Anders verhält es sich aber dort, wo diese Bedingungen nicht erfüllt sind, und zwar an den Flachküsten, die die gewöhnlichste Form der Küsten bilden, wo das Land sich ganz allmählich bis zum Meere und unter dessen Spiegel senkt. Hier ist zumeist nicht nur der Hafen erst mit Hilfe von gewissen auszuführenden Bauwerken künstlich zu schaffen, sondern er muß auch noch erhalten werden, indem man für den Kampf mit der Natur alle die der Ingenieurwissenschaft zur Verfügung stehenden Hilfsmittel in Anspruch nimmt. Die Lebensfähigkeit eines solchen Hafens hängt daher von der zweck- und zeitgemäßen Verwendung besonderer Mittel zur Bewältigung der schädlichen Naturkräfte und -wirkungen ab.

4. Die für einen Hafen schädlichste Naturwirkung. Die wohl schädlichste und dabei durch nichts zu beseitigende Naturwirkung bildet ohne Zweifel die Ablagerung von Sand an den Ufern. Die Anordnung der Außenwerke für Häfen an solchen Küsten bedarf deshalb genauester und sorgfältigster Überlegung nach mancherlei Richtung hin. Hier genügt nicht nur allein die Erfüllung der sonstigen allgemeinen, für alle Häfen zu beachtenden Bedingungen, die die Sicherung der Ausfahrt und namentlich der Einfahrt der Schiffe, sowie den Schutz des Hafens gegen den Wellenandrang betreffen. Hier kommt die sehr wichtige Aufgabe hinzu, diese Bauwerke derart anzuordnen, daß die Versandung der Hafeneinfahrt, sowie des ganzen Hafens verhindert oder wenigstens auf ein geringstes Maß eingeschränkt wird. Anderseits muß sich die für die Schiffahrt notwendige Tiefe unschwer aufrecht erhalten lassen.

Namentlich ist die Küste der deutschen Ostsee solchen schädlichen Sandablagerungen in erheblichem Maße ausgesetzt.

II. Veränderung der Küsten.

1. Allgemeines über den Angriff des Meeres auf die Küsten. Allgemein ist die Veränderung der Küsten das Ergebnis der Brandung des Meeres, der Zernagungswirkung der Flüsse, der Ablagerungstätigkeit des Wassers, der Pflanzenwelt hauptsächlich im Aufbau der Moore, des Einflusses des Windes und schließlich auch der Tätigkeit des Menschen.

Infolge der nagenden und unterwaschenden Angriffe der Wellen und Strömungen an ihren Ufern sind die Küsten des Meeres beständigen Veränderungen und Umbildungen unterworfen. Die weniger widerstandsfähigen Küsten, namentlich die felsigen und tonigen Steilufer, werden in Abbruch versetzt Dabei wird die nagende Tätigkeit des Meeres unterstützt und zum Teil vorbereitet durch die Auflösung, Zersetzung und Verwitterung der festen Gesteinsmassen infolge Regen- und Quellwasser, sowie durch die ständige Auflockerung der oberflächlichen Massen durch in Spalten gefrierendes Wasser, oder anderseits durch die starke Erwärmung der Sonne mit darauffolgender schneller Abkühlung in der Nacht.

Schwerer Seegang, namentlich verbunden mit starker Brandung, wirbelt an den Küsten den Boden von dem Grunde auf, so daß das Wasser sich trübt. Hinzutretende Strömungen tragen die nunmehr schwebenden Sinkstoffe in das Meer hinaus. Sie gehen damit dem Saume des Landes verloren. Hauptsächlich kommen in dieser Beziehung die tonigen Teilchen der abgebrochenen Bodenmassen des Ufers in Frage, die für immer im Wasser verschwinden. Nur die feineren Sand- und Kiesteile bleiben am Ufer zurück und bilden hier fast überall den Strand, der bei hohem Wasserstande und starkem Seegange unter Wasser tritt oder von den auflaufenden Wellen überflutet wird, oder den das Meer je nach Flut und Ebbe abwechselnd bespült und trocken läßt.

Naturgemäß findet der Angriff des Meeres am stärksten auf die vorspringenden Stellen der Küste, im besonderen die Hochufer, statt. Gerade an der deutschen Ostseeküste ist diese Erscheinung sehr deutlich wahrzunehmen. Hier sind die vorhandenen Hochufer teils aus Kreide, teils aus Geschiebemergel und teils auch aus Einlagerungen von geschichtetem Sand, Ton und Kies gebildet. Die an diesen Ufern durch im Luftraum vorhandene Stoffe, durch Grundwasser und durch den Stoß der Wellen als Schutthalden zur Ablösung kommenden Bodenmassen werden im Spiel der Wellen ausgewaschen und, soweit sie aus feinem Staub und Ton bestehen, dem Meeresgrunde zugeführt. Der größere Teil jedoch, der aus Sand und Kies zusammengesetzt ist, wandert unter dem Einflusse der Wellen und der Strömung oder unter der Wirkung des Windes den Strand entlang. Nur ein kleiner Teil, die größeren Steine, bleibt zum Schutze des dahinterliegenden Ufers an der Abbruchstelle liegen.

2. Uferabbrüche an der samländischen Küste. Besonders gewaltig hat sich im Laufe der Zeit die Wirkung der verschiedenen Naturkräfte bei der Zerstörung der Steilküste des Samlandes gezeigt, namentlich auf der gegen die westlichen Winde freiliegenden Strecke von Tenkitten bis Brüsterort hin. Die hier 30 bis 35 m hohen, seewärts steil abfallenden Wände dieser Hochuferstrecke bestehen zum großen Teil aus Geschiebemergel. Allenthalben finden sich am Fuße dieser Mergelwände große Löcher, die sich durch die Ausspülungen der See gebildet haben. Aber auch andere Stellen, wo der Steilhang, wie z. B. bei der Dirschkeimer Schlucht, aus dem sehr feinen körnigen Glimmersand besteht, zeigen deutliche Spuren der die Küste unterspülenden und das Erdreich wegführenden See.

Indes wirkt nicht etwa nur Sturm und Brandung zerstörend, sondern auch bereits die weniger bewegte See nagt fortwährend am Strande das Erdreich ab. Namentlich dort, wo der Strand besonders schmal ist, spülen die Wellen den heruntergestürzten Boden schon bei mittlerem Seegange in ganz kurzer Zeit hinweg.

Außer der See ist besonders der Wind und namentlich der Regen und der Frost, letzterer hauptsächlich an den fast senkrechten Wänden von Geschiebemergel, an diesem Zerstörungswerk stark beteiligt. Große Verheerungen richtet schließlich auch der Regen als Sickerwasser an der Kliffküste an.

Gerade der Geschiebemergel nimmt viel Wasser auf. Dadurch wird sein Rauminhalt stark vergrößert, und die ganze Masse leicht aus dem Gleichgewicht gebracht. Da die unteren Lagen des Hochufers ohnehin in besonderem Maße dem größten Drucke von oben her ausgesetzt sind, wird auch meistens der Fuß des Geschiebemergelblockes zuerst aus seiner ursprünglichen Lage verdrängt. Damit werden zugleich auch die darüberliegenden Schichten in ihrer Lagerung sehr beeinträchtigt. Infolge der starken Festigkeit seiner Massen besitzt der feste Geschiebemergel zwar eine besonders hohe



Abb. 1.

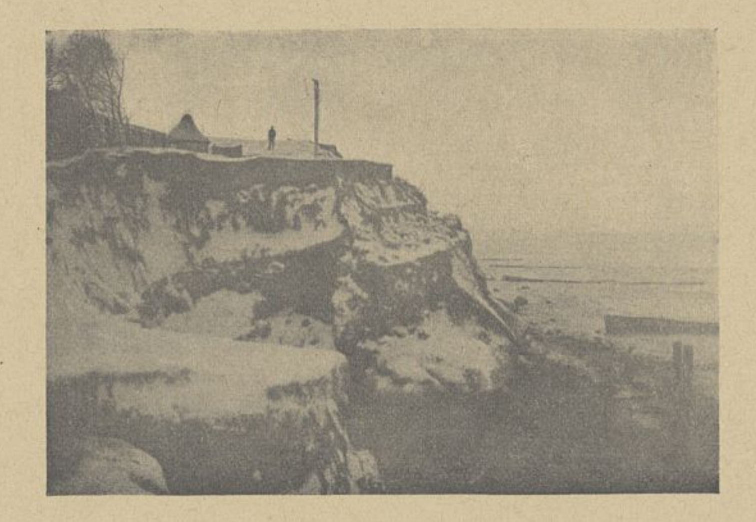


Abb. 2.

Abb. 1 u. 2. Uferabbrüche an der pommerschen Küste bei Groß-Horst infolge der Sturmflut von 1913/14.

Anhaftungskraft und kann daher dem Angriff der zerstörenden Kräfte länger Widerstand leisten. Wenn aber erst die Störung des Gleichgewichtes eingetreten ist, dann werden auch weit größere Massen vom Hochufer mit fortgerissen werden, als solches an den Stellen geschieht, die lediglich aus loseren Sandschichten bestehen.

3. Anderweitige Abbrüche an der Ostseeküste. Auch sonst zeigt die deutsche Ostseeküste allenthalben Spuren von dem unablässigen und starken Vordringen des Meeres gegen das Land. An manchen Stellen werden sogar recht beträchtliche Landveränderungen infolge der verwüstenden Kraft der Brandungswellen beobachtet. Beispielsweise beweist der bisherige starke Landverlust auf dem nördlichen, bergigen Teile der Insel Hiddensee, daß die Kräfte der Zerstörung hier unaufhaltsam am Werke sind. Ebenso ergaben Untersuchungen am Brothener Steilufer bei Travemünde, daß auch hier die Küste von den Wellen langsam und unaufhörlich zerfressen wird.

Ein weiteres Beispiel für die allmähliche und ständige Zernagung der Küste bietet namentlich auch das stolze Rügener Steilufer. Der Königsstuhl von Stubbenkammer soll, wie es heißt, ein altes Hünengrab bergen. Er muß also vor vielen



Abb. 3. Uferabbruch an der pommerschen Küste bei Hoff infolge von Sturmfluten.

Jahrhunderten noch mitten im Waldesfrieden gelegen haben. Heute bildet er den hervorstechendsten Teil der Steilküste. Ebenso kann an der „Adlerhorst“ genannten Felsschlucht auf Arkona, sowie an der kleinen Insel Ruden im Südosten von Rügen festgestellt werden, daß hier gleichfalls die von den Meereswellen herrührende Zerstörung der Küste bis auf die jüngste Zeit bedauerliche Fortschritte gemacht hat. Die Insel Ruden ist deshalb in den letzten Jahren planmäßig und allmählich mit einem starken Steinwalle umgeben worden, der sich als wohlgeeignet erwiesen hat, weitere Abbrüche der Insel zu verhindern. Diese zur Erhaltung der Insel erforderlichen Sicherungsmaßnahmen verursachen zwar hohe Kosten. Sie werden aber aufgewendet, weil die Insel einen höchst günstigen und willkommenen Abschluß des Greifswalder Boddens gegen die Versandung von Norden und Osten her bildet.

4. Uferabbrüche an der pommerschen Küste. Nicht zuletzt verdienen die zum Teil recht bedeutenden Abbrüche an den hohen Steilufern der pommerschen Küste ganz besondere Erwähnung. Sie zeigen außerordentlich deutlich, wie im Laufe der Jahre in erschreckender Weise die ständige Abnahme an Land unaufhaltsam und immer weiter vor sich gegangen ist.

Westlich der Swinemündung auf der vorpommerschen Küstenstrecke, die zerrissen ist und an die sich ausgedehntes Flachland heranzieht, besteht das Ufer in der Hauptsache aus Sand. Dazwischen befinden sich aber einzelne tertiäre Ablagerungen, die sich, wie vor allem der Streckelsberg, zu beachtenswerten Höhen von 60 bis 70 m erheben. Die östliche, hinterpommersche Küste ist dünenreich und wenig gegliedert, jedoch mit einzelnen Strandseen, gleichsam kleinen Haffen, durchsetzt. Sie ist im allgemeinen eben; hie und da sind einige Hügel und Höhen vorhanden. Diese Steilufer, die im Mittel bis etwa 40 m hoch sind, weisen sehr reichlich Einlagerungen von Ton, Mergel und Lehm auf. Sie besitzen dadurch von vornherein eine größere Widerstandsfähigkeit gegen den Angriff des Meeres. Überall jedoch haben dauernd mehr oder weniger große Landveränderungen stattgefunden. Sie beweisen, daß die See bestrebt ist, zwar langsam, aber ständig ihre Uferkante landwärts zu verschieben (Text-Abb. 1 u. 2). Wohl am deutlichsten für das Auge ist der Abbruch der Küste und der bisherige große Verlust von Land an dem

Einsturze der alten Kirche des Dorfes Hoff, unweit des kleinen zwischen Kolberg und Dievenow gelegenen Badeortes Rewahl, wahrzunehmen (Text-Abb. 3). Diese Kirche wurde Mitte des 13. Jahrhunderts erbaut und stand einst mitten im Dorfe, der Kirchhof um sie herum. Wieviel Acker dem Dorfe seewärts noch vorgelagert war, ist unbekannt. Es sollen jedoch allein im ganzen 175 Morgen Pfarracker verschwunden sein. 1730 haben noch zwei Bauernhöfe jenseit der Kirche und der hinter dem Kirchhof entlang führenden großen Landstraße von Kolberg nach Stettin gelegen. Der durch Frost und Stürme verursachte Absturz des hohen, steilen und lehmigen Meeresufers kam der Kirche von Jahr zu Jahr immer näher. Bereits im Jahre 1772 — 102 Jahre vor der endgültigen Schließung der Kirche — tauchten ernste Bedenken gegen ihre Sicherheit auf. Sie veranlaßten die Kirchengemeinde, sich mit einer Eingabe an Friedrich den Großen zu wenden. Dieser verfügte auch daraufhin an die pommersche Regierung, wenn die Gefahr „würklich so dringend“ sei, solle sie sich überlegen, „aus was für Fonds die Kosten zu derselben Abbrechung und Wieder-Aufbauung genommen werden können“. Besondere Maßnahmen erfolgten jedoch nicht. Unaufhaltsam drang das Meer weiter vor. Immer näher rückte das Gotteshaus dem Abgrunde, der es jetzt schon zum Teil verschlungen hat. Im August 1806 war das Westende noch 48 Fuß, im Mai 1835 nur noch 37 Fuß von dem etwa 60 Fuß hohen Steilhange entfernt. 1843 trat ein Sturm mit solcher Gewalt auf, daß sich eines Sonntags der Prediger von der Kanzel nur mit Mühe verständlich machen konnte. Am 2. Januar 1855 zerstörte ein starker Sturm durch die Gewalt der von ihm aufgepeitschten Meereswogen, die in zuvor noch nie gesehener Höhe auf das Ufer getrieben wurden, den Steilhang ganz außerordentlich heftig. Große Löcher wurden in das Ufer gerissen, so daß im Mai 1855 am Westende der Kirche nur noch 17 Fuß Vorland vorhanden war. Wegen der dauernden Abbröckelung des Ufers wurde regierungsseitig beschlossen, die Kirche spätestens 1857 aufzugeben, weil die vorgeschlagenen Schutzbauwerke zu kostspielig wären und auch keinen genügenden Erfolg versprächen. Man ließ sich indes dadurch täuschen, daß das Ufer ausgetrocknet war, und daß daher keine Gefahr zu drohen schien, und legte noch einmal einen Schutz des Ufers in Form eines Faschinenwerkes an. Das versagte aber bei der nächsten größeren Flut völlig. Schließlich wurde 1873 die Schließung der Kirche befohlen und im Sommer 1874 auch ausgeführt. Noch manches Jahr trotzte das alte feste Mauerwerk den Angriffen von Sturm und Wogen. Allmählich aber, namentlich in den neunziger Jahren, brach infolge des Frostes und des jeweils im Frühjahr eintretenden Tauwetters immer mehr und mehr vom Ufer ab. 1901 stürzte dann die ganze Nordseite der Ruine in die Tiefe und 1903 auch ein Teil des Westgiebels. Vor allem hat die letzte schwere Sturmflut 1913 und 1914 große Schäden am ganzen Hochufer und auch an der Kirche selbst angerichtet. In absehbarer Zeit wird deshalb die alte Kirchenruine dem Ansturm der Wogen völlig zum Opfer fallen. Unaufhaltsam dringt das Meer vor und spottet aller Versuche, ihm auf die Dauer Widerstand zu leisten.

5. Der Streckelsberg und die Bauten zu seinem Schutze. Ganz besonders ist der vor Koserow gelegene 60 m hohe Streckelsberg infolge seiner in die See vorspringenden Lage dem verderblichen Angriffe des Meeres ausgesetzt (Abb. 1 Bl. 41). Er stellt nicht nur von jeher für die Schiffahrt einen höchst wichtigen und bekannten Anseglungspunkt dar, der durch eine auf dem Berge aufgestellte Bake noch deutlicher gekennzeichnet ist. Er ist auch vor allem für die Erhaltung der ihm benachbarten Küste, insbesondere der schmalen Stelle von Koserow bis Zempin und Zinnowitz hin, von außerordentlicher Bedeutung. Deshalb sind seit bald 60 Jahren Menschengeist und Menschenhände, anfänglich mit geringerem, nach und nach aber mit größerem Erfolge, an der Arbeit, ihn vor dem gleichen Schicksal zu bewahren, das bereits andere ihm nördlich vorgelagert gewesene, ebenso hervorstechende Küstenpunkte gefunden haben, deren letzte Reste die Zinnowitz-, Vineta- und Koserowbank bilden.

Anderseits war schon anfangs des vorigen Jahrhunderts infolge der allmählich zunehmenden Steigerung der Ansprüche an den Swinemünder Hafen die besondere Aufmerksamkeit auf die ständigen Zerstörungen der Küste gerade an dieser Strecke gelenkt worden. Es wurde bald erkannt, daß diese unaufhörlichen Uferabbrüche eine bedenkliche Gefahr für den Bestand des Swinemünder Hafens bildeten. Gerade vom Westen her trieben zeitweilig sehr große Sandmassen dem Hafen zu. Sie zeigten sich als die Ursache für die der Schiffahrt immer ungünstiger werdende Versandung der Hafeneinfahrt. Auch das fortwährende Anwachsen des Strandes längs der Westmole, sowie das Auftreten starker Verflachungen zwischen den Molen war ohne Zweifel in den gleichen Zusammenhang zu bringen.

Die zwingende Notwendigkeit, diese gefährliche Erscheinung möglichst wirksam zu bekämpfen, gab deshalb in den Jahren 1858—60 Veranlassung zu den ersten Schutzbauten vor dem Streckelsberge, die die bisherige Unterspülung des Steiluferfußes durch die See verhindern sollten. Sie bestanden anfänglich in der Herstellung eines einfachen Deckwerkes, das aus den auf und vor dem Strande liegenden großen Steinen zusammengesetzt wurde. Dieses „Steinrevêtement“ bewährte sich indes nicht in der erhofften Weise. Bei hohem Seegange gingen die Wellen darüber hinweg und nahmen bei ihrem jedesmaligen Zurückfließen den Sand unmittelbar hinter dem Steinpackwerk mit fort. Gleichzeitig bildete sich dahinter eine starke Strömung und griff einen besonders vorspringenden Tonkegel an, auf dessen Erhaltung es vor allem ankam.

Zur Beseitigung dieser nachteiligen Strömung wurde nach und nach eine Anzahl zwischen eingerammten Pfählen mit Strauchwerk ausgepackter und mit Steinen beschwerter Querwände gezogen, deren Zwischenräume sich mit Sand ausfüllen sollten. Bald darauf wurden zur Erhöhung der Wirksamkeit dieser Bauten, sowie zum Schutze des Bergfußes gegen die unmittelbar über das Deckwerk schlagenden Wellen auch noch einige buhnenartige, nach See zu vorspringende Pfahlwerke hergestellt. Alle diese Bauten hielten sich zwar einigermaßen, befriedigten aber noch keineswegs.

Da stellte im Sommer 1860 der Oberbaudirektor G. Hagen bei einer Besichtigung fest, „daß nunmehr erforderlich sei zu anderen Maßregeln überzugehen, als bisher versuchsweise zur Ausführung gekommen wäre“. In erster Linie sei „zur

Sicherung des ganzen Deckwerks notwendig, sämtliche bestehenden Querwerke (Buhnen) — die jetzt am Kopfe steil abfielen — mit noch weiter vorgehenden, aber dann flach abfallenden Köpfen zu versehen“. Sodann sollten „ähnliche Werke bis zu größerer Entfernung an beiden Seiten noch weiter fortgesetzt werden, um das Ufer in weiterer Ausdehnung zu schützen und dadurch den Angriff auf die am meisten bedrohte Stelle zu mäßigen“.

Unter Aufwendung größerer Mittel wurde daraufhin in den folgenden Jahren die großzügige Anlage von insgesamt 67 Buhnen ausgeführt, aus dem die noch heute vorhandenen 46 Stück stammen. Hagen selbst bezeichnete diesen Bau in einer Bereisungsniederschrift vom Jahre 1863 als „den ersten Versuch an der preußischen Küste, eine stets zurückweichende Uferstrecke, die unbedingt bei verschiedenen Windrichtungen den angrenzenden Strecken wesentlichen Schutz bietet, sicher zu halten und ihren ferneren Abbruch zu verhindern“.

Die jedoch bei der Herstellung dieser Pfahl-Buhnen angewendete Bauweise hielt namentlich wegen der zu gering gewählten Stärke der Pfähle den Stürmen im Winter nicht stand. Man ging deshalb im Laufe der nächsten Jahre allmählich zu stärkeren Abmessungen der Werke über.

Inzwischen war die wichtige Beobachtung gemacht worden, daß die Buhnen allein nicht die erhoffte Wirkung ausübten. Die Wellen liefen gerade bei den für diese Küstenstrecke gefährlichen Nordostwinden zwischen den in der Windrichtung liegenden Buhnen ungehindert auf den Strand auf und griffen den Bergfuß doch immer wieder an. Der herabgestürzte Sand bildete zwar noch zuerst für längere Zeit einen guten breiten Strand, der oft genug über die Wirkung der Buhnen hinwegtäuschte. Selbst Hagen ließ sich dadurch irre führen, indem er bei einer Besichtigung im Jahre 1863 „die auffallenden Erfolge“ feststellte, „welche die Werke gerade im letzten Winter gezeigt hätten. Der Strand zwischen ihnen habe sich überall vorteilhaft ausgebildet.“

Aber allmählich wurde der Strand wieder schmäler, und das Spiel der Zerstörung fing von neuem an. Deshalb begannen gleichzeitig mit dem weiteren Ausbau der Buhnenanlage mit wechselndem Erfolge allerhand Versuche mit dem Bergfuße gleichlaufenden Werken, Strauch-Zäunen und Flechtwerken verschiedenster Art. Sie sollten den bei hohem Seegange vom Berge abstürzenden Boden zurückhalten und womöglich eine Vordüne bilden. Diese Bauwerke hielten jedoch nicht stand. Selbst stärker ausgeführte wurden immer wieder weggeschlagen. Schließlich ließ Hagen selbst diese Bauten überhaupt aufgeben. „Er habe niemals bemerken können, daß die Parallelwerke zwischen den Buhnen auf diesem Strande die Sandablagerungen beförderten. Als Versuch habe er ihrer Ausführung nicht entgegentreten wollen. Der Versuch hätte sich nunmehr als erfolglos erwiesen, weshalb von seiner weiteren Fortsetzung abgesehen werden müsse, um so mehr, als er sehr kostspielig gewesen sei.“ Dennoch wurden später noch mehrere Male Versuche mit solchen Schutzwerken angestellt. Alle Mühe war jedoch vergebens. Der Berg ging weiter zurück. Der Tonkegel, der sich noch am längsten gehalten hatte, wurde ebenfalls zerstört. 1881 mußte dann festgestellt werden, daß „im letzten Jahre auf dem westlichen Abhange des Berges ein stärkerer Abbruch von nahezu 4 m Breite stattgefunden habe“. Weiter ergab sich „daß seit dem Jahre 1859 der Fuß des Berges in Nähe der obenstehenden Anseglungsbake um 21 m, also durchschnittlich im Jahre um 1 m, zurückgewichen sei.“

Inzwischen war der Gedanke aufgetaucht, ähnlich wie bereits Mitte der siebziger Jahre bei dem Leuchtturm Groß-Horst zum Schutze des Steilhangfußes mit Erfolg geschehen war, eine starke Futtermauer herzustellen. Indes zog sich die Verwirklichung dieses Planes noch eine ganze Reihe von Jahren hin. Während dieser Zeit wurden zur Verhinderung weiterer Abbrüche des Berges lediglich die Böschungen mit Steinpackungen abgedeckt, die jedoch nur mangelhaft schützten.

Erst im Jahre 1894 wurde der Bau der Mauer ernstlich ins Auge gefaßt, und ein entsprechender Entwurf aufgestellt. Dieser betraf indes nicht nur die Herstellung einer festen Mauer, sondern gleichzeitig auch vergleichsweise die eines festen Deckwerks nach dem Vorbilde der Borkumer Uferschutzanlagen. Der geringeren Kosten wegen wurde im Jahre 1895 aber nur das letztere in zwei verschiedenen Arten zur Ausführung gebracht (Text-Abb. 4 u. 5). Seitdem ist tatsächlich an dieser Strecke kein weiterer nennenswerter Landverlust zu verzeichnen gewesen.

Bald zeigte sich, daß beiderseits dieses Deckwerks starke Bergabstürze eintraten. Deshalb war eine Verlängerung des Deckwerks nach beiden Seiten hin nicht zu umgehen. Trotz der höheren Kosten wurde aber hierfür eine sich selbst tragende starke Mauer (Text-Abb. 6) gewählt und ausgeführt, weil das Deckwerk mancherlei sehr große bauliche Schwierigkeiten verursacht hatte. Auch wurde erwartet, daß sich die Wellen an einer solchen steilen Wand tot laufen würden. Diese Anlagen hielten sich in den folgenden Jahren recht gut, so daß es 1902 in einer Bereisungsniederschrift hieß: „Die Uferbefestigung hat seit ihrem siebenjährigen Bestehen nennenswerter Ausbesserungen und Nacharbeiten nicht bedurft. Nach

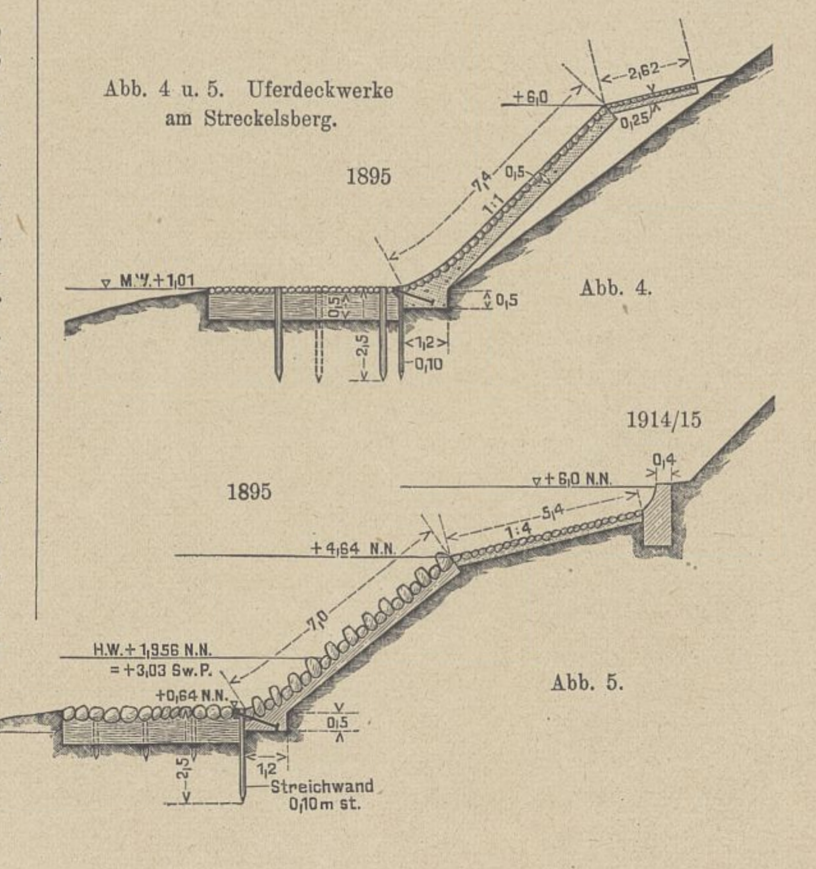


Abb. 4 u. 5. Uferdeckwerke am Streckelsberg.

Abb. 6 u. 7.
Uferdeckwerke am Streckelsberg.

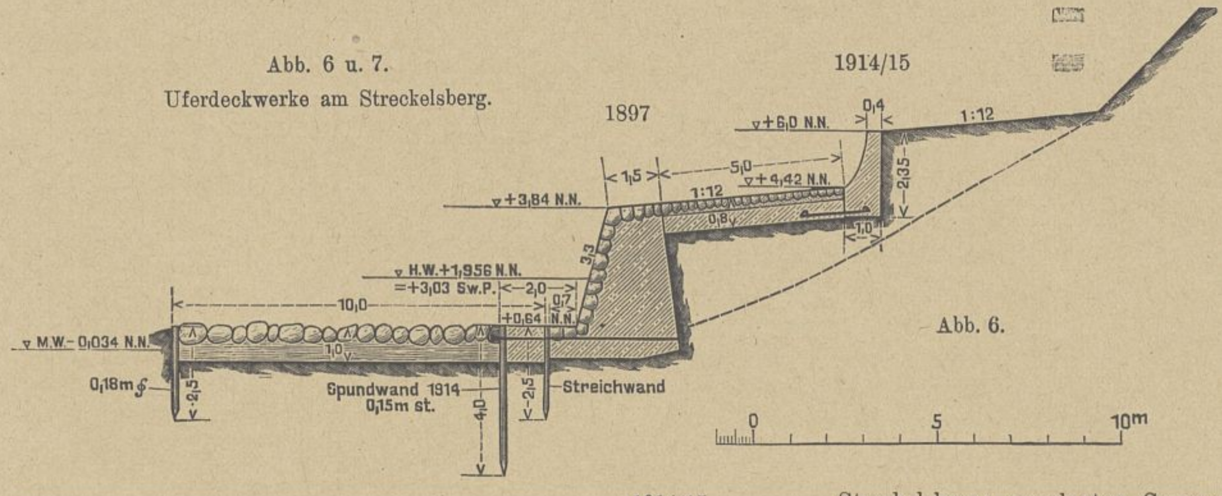


Abb. 6.

Abb. 7.

den bisherigen Erfahrungen erscheint es hiernach, daß durch ein solches Werk der dauernde Schutz eines steil abfallenden Meerufers mit einiger Sicherheit erzielt werden kann.“ Aber die anschließenden Uferstrecken blieben weiter im Abbruch. 1903 wurde festgestellt, daß der Berg westlich der Bauwerke in den letzten vier Jahren um 6 m und östlich davon in den letzten elf Jahren um 20 m zurückgewichen war. Weitere Verlängerungen der Uferschutzanlagen waren deshalb unbedingt notwendig. Hierzu wurde diesmal für die Ufermauer eine Form mit gekrümmter Vorderfläche gewählt, „die sich an der Nordsee gut bewährt habe und der schrägen Form deshalb vorzuziehen sei, weil die Wellen nach oben abgelenkt werden und möglichst in sich selbst zusammenfallen“ (Text-Abb. 7).

Dieser Ausführung kam jedoch die Sturmflut Ende 1904 zuvor, die große Beschädigungen an den bisherigen Anlagen herbeiführte. Infolgedessen geschah im darauffolgenden Jahre die Herstellung der Mauer nach der neuen Form auf einer größeren Strecke, als vordem beabsichtigt war. Auch wurde nunmehr der Ausbildung der Anschlußflügel in kräftiger und widerstandsfähiger Weise ganz besondere Sorgfalt zugewendet, weil sie sich bisher stets als die wundesten Stellen der ganzen Schutzanlage gezeigt und fortwährend umfangreiche Ausbesserungen verursacht hatten.

Inzwischen hatte das Uferwerk nach und nach eine Länge von rund 450 m erreicht. Die vorhandenen Buhnen waren nebenbei ergänzt und zum Teil verstärkt worden. Ebenso wurde entsprechend dem Zurückweichen des Strandes der Anschluß der Buhnen an den Berg je nach dem Bedürfnis weiter betrieben und in verschiedener Weise ausgeführt.

Mit dem wachsenden Abbruch des Streckelsberges war auch die dicht westlich anstoßende Küstenstrecke immer stärker in die Gefahr geraten, ebenfalls zurückzuweichen. Deshalb waren gleichzeitig mit den Bauten am Streckelsberge und im engsten Anschluß an diese auch hier Buhnen angelegt worden, die den Wandersand auffangen, den Strand verbreitern und eine schützende Vordüne erzeugen sollten. Schon 1896 hatte bereits einmal der Plan bestanden, diese Buhnen mit der vor dem Streckelsberge angelegten Gruppe in Verbindung zu bringen. — Im Laufe der Zeit wurden vor diesen Küstenstrecken bis auf den heutigen Tag insgesamt 100 Buhnen auf eine Länge von rund 6,3 km hergestellt. 28 Buhnen sind noch auszuführen (Abb. 1 Bl. 41). — Alle diese Maßnahmen geschahen zwar vornehmlich, um den weiteren Abbruch der Küste und den ständigen Verlust an Land zu verhindern. Sie stehen aber in vollständigem, ursächlichem Zusammenhange mit dem Ausbau und der Unterhaltung des Swinemünder Hafens, dessen starke Versandung in erster Linie auf die Ablagerung der von den benachbarten westlichen Küstenstrecken abgeschwemmten und durch Strömungen mit fortgenommenen Erdmassen zurückzuführen ist.

6. Umfang der bisherigen Abbrüche an der deutschen Ostseeküste. Wie groß und über alle Erwartungen hinaus diese ständigen Landverluste an der deutschen Ostseeküste im Jahresdurchschnitt sind, hat eine Untersuchung gezeigt, die seinerzeit der Rostocker Geologe Geinitz infolge der durch die Sturmflut von 1904 verursachten Zerstörungen an der mecklenburgischen Küste angestellt hat.

Bis dahin wurde angenommen, daß die deutsche Ostseeküste im Jahrhundert durchschnittlich 44 m und an den gefährdetsten Stellen im Durchschnitt der letzten Jahrzehnte etwa 0,50 m im Jahre an Ausdehnung verliert. Nach den Geinitzschen Ermittlungen scheint indes diese Zahl noch erheblich zu niedrig gegriffen zu sein, vor allem an den Steilküsten. So sollen z. B. einige Beobachtungen neuerer Zeit, die sich am Brothener Steilufer bei Travemünde auf die Lage großer Steine vor dem Ufer erstreckte, ergeben haben, daß hier der durchschnittliche Landverlust auf über 1 m im Jahre zu berechnen ist. An anderer Stelle derselben Uferstrecke konnte nahezu die gleiche Verlustziffer festgestellt werden

Auch die Wirkungen, die die zerstörenden Kräfte bisher an der samländischen Küste ausgeübt haben, sind stellenweise recht bedeutende und geradezu erschreckende. Prof. Dr. Brückmann-Königsberg (S. 776) hat sie in den Jahren 1909/12 teils durch Berechnungen nach alten Karten, teils auch durch sorgfältige Messungen an Ort und Stelle nachgewiesen und in seiner Abhandlung „Beobachtungen über Strandverschiebungen an der Küste des Samlandes“ zusammengestellt. Danach ist die Zerstörung der Küste am größten bei Marscheiten gewesen. In den 38 Jahren von 1847 bis 1885 sind nach den Berechnungen hier 10,3 Morgen Land, also jährlich ein etwa 0,85 m breites Stück, hinweggespült worden. In den

letzten 25 Jahren sind jedoch diese Landverluste geringer gewesen. Sie betrugen nur 3,7 Morgen, d. i. jährlich ein Stück von 0,37 m Breite.

Weitere Berechnungen in der Kreislakener Gemarkung ergaben, daß in der Zeit von 1821 bis 1863 diese Gemeinde 11,12 Morgen Ackerland verloren hat. Auf Grund von genauen Nachmessungen wurde dann noch festgestellt, daß von 1843 bis 1910 weitere 12,60 Morgen in die See gegangen sind. Demnach hat in diesen 90 Jahren die eine Gemeinde zusammen 24,72 Morgen urbares Land einbüßen müssen, was jährlich einem Stück von 0,5 m Breite entspricht.

Das gleiche Maß der jährlichen Zerstörungen fand sich auch in dem Gelände von Kraxtepellen, Palmnicken und Hubnicken. Nur in der Sorgenauer Bucht ist die bisherige Zerstörung geringer geblieben; sie hat nur 0,1 m im Jahre betragen. Der Grund hierfür ist einmal darin zu suchen, daß diese Bucht am Nordende von einem Steinriff und am Südende durch eine Sandbank eingeschlossen wird. Sie liegt daher gegen die Wellen sehr geschützt. Anderseits handelt es sich hier um eine Einbuchtung der Küste. Zufolge der Naturgesetze lagert die See an diesen ab, ebenso wie sie umgekehrt an den Vorsprüngen, den Spitzen oder Haken, abträgt.

Ganz besondere Beachtung nehmen in dieser Beziehung die Berechnungen und Messungen an der Ecke von Brüsterort in Anspruch. Ist doch ohne Zweifel die Beantwortung der Frage von allgemeiner Wichtigkeit, ob und in welchem Maße der hier stehende Leuchtturm durch die fortschreitende Zerstörung der Steilküste gefährdet ist. Brückmann hat hier durch örtliche Messungen und deren Vergleich mit den damaligen Bauplänen festgestellt, daß die Brüsterorter Ecke in den letzten 70 Jahren an der Westküste ein Stück Land von 3 m Breite, an der Nordküste ein solches von 6,5 m Breite verloren hat. Die Ecke selbst ist um 6 m weiter landeinwärts gerückt.

Von jeher wurde seitens der preußischen Wasserbauverwaltung den Abrutschungen an dieser der Schiffahrt höchst wichtigen Stelle erhöhte Aufmerksamkeit zugewendet. Zwar lagert gerade an der Spitze ein fester Block aus Geschiebemergel und bildet, weil seine losen Bestandteile allmählich zu seinen beiden Seiten herabgerutscht sind, einen fast felsenartigen Grat. Durch diese nunmehr freigelegten festeren Massen vermag er daher bereits von selbst den zerstörenden Kräften einen längeren Widerstand zu bieten. Dennoch wurde in den achtziger Jahren zum Schutze des Fußes gegen die unmittelbare Unterspülung durch die See ein Steinwall rings um die Spitze von Westen über Norden nach Osten in einer Länge von 355 m in rund 8 m Abstand vom Fuße des Hochufers aus Landfindlingen hergestellt. Seine Krone liegt etwa 1,70 m über dem mittleren Wasserspiegel der See und hat eine Breite von 1,20 m. Durch diese Maßnahme ist bisher dem Abbruche und damit den weiteren Landverlusten an dieser Ecke, soweit sie im Schutze dieses Walles liegt, erfolgreich Einhalt getan worden. Es hat sich sogar hier mit der Zeit ein gewisser Gleichgewichtszustand eingestellt. Eine Gefahr für den Bestand des Leuchtturmes selbst liegt demnach vorläufig durchaus noch nicht vor. Augenblicklich beträgt die Entfernung des Turmes von der Westküste noch rund 130 m, von der Ecke rund 140 m und von der Nordseite, die der Zerstörung ganz besonders ausgesetzt ist, immerhin noch über rund 100 m.

Ein ganz besonders deutliches Bild der Veränderung, die die pommersche Küste von der Dievenowmündung bis zur Peenemündung im Laufe der letzten zwei Jahrhunderte erlitten hat, ergibt sich aus dem Vergleiche der im Stettiner Staatsarchive aufbewahrten schwedischen Landesmatrikelkarte vom Ende des 17. Jahrhunderts mit den heutigen preußischen Meßtischblättern. In den Jahren 1695 und 1696 ließ die schwedische Regierung, die sich damals im Besitze von Vorpommern befand, das Land zu Grundsteuerzwecken aufmessen. Diese Ergebnisse sind dann in einzelne zusammenhängende Blätter, die vermutlich je das Gebiet eines Verwaltungsbezirkes umfaßt haben, eingezeichnet worden. Der dabei verwendete Maßstab entspricht ziemlich genau 1 : 8000. Aus diesen Karten wurde beim Hafenbauamt Swinemünde die damalige Küstenlinie, so genau das bei den wenigen Anhaltspunkten möglich war, in die neuesten Meßtischblätter 1:25 000 übertragen. Als solche Festpunkte haben dabei insbesondere alte noch jetzt bestehende Wege, wie z. B. die alte Poststraße längs des Ufers von Swinemünde nach Misdroy, ihre Kreuzungen und Gabelungen, noch vorhandene alte Kirchen und sonstige Merkmale gedient. Auch sind an einigen Stellen der Küste westlich von Swinemünde, z. B. am Streckelsberge, örtliche Messungen vorgenommen worden. So konnte der damalige Verlauf der Küste doch immerhin bis zu einer Genauigkeit von 20 bis 25 m ermittelt werden. Für die Strecke bei Misdroy stimmen hiermit die Feststellungen Keilhacks in seiner Schrift „Die Verlandung der Swinepforte“ vollkommen überein. Er gibt darin an, daß hier in Höhe der Gabelung der alten Poststraße im Jagen 184 die Küste von 1694 gegen die heutige Linie um rd. 250 m weiter nach See zu lag, und daß der Landverlust vor dem hohen Steilufer östlich von Misdroy zu rd. 200 m anzunehmen ist. Auf Abb. 3 Bl. 41 ist die Küstenlinie von 1694 dem Maßstabe dieses Übersichtsplanes 1 : 150 000 entsprechend eingetragen, und das Maß ihrer Verschiebung in den heutigen Verlauf für verschiedene Stellen in Zahlen ausgedrückt. Der Höchstwert des Abbruches liegt bei Koserow vor der Villa Seeblick und beträgt rd. 320 m, was einem jährlichen Vordringen der See an dieser Stelle von durchschnittlich rd. 1,45 m gleichkommt.

Auch die Geschichte des Unterganges des alten Fischerdorfes Regamünde-Rega und die damit zusammenhängende Entstehung der Ortschaft Treptower Deep an der Regamündung ist ein hochbeachtenswertes Beispiel dafür, wieviel Land an dieser Küstenstrecke nach dem Verschwinden der damaligen Ansiedlungen von der See verschlungen ist. Hierüber hat im Jahre 1897 der Pastor Gaedke in Robe unter Benutzung der alten Kirchenzeitgeschichte von Robe eine kleine Schrift: „Regamünde und Treptower Deep“ verfaßt, der teilweise das Folgende entnommen ist. In vergangenen Jahrhunderten war der Ausfluß der Rega in die Ostsee ein anderer als heute (Abb. 2 Bl. 41). Die Rega ging damals von Südwesten her durch den Kamper See und trat an der Nordwestecke wieder aus. Von hier floß sie dann geraden Weges in die Ostsee. Diese Mündungsstelle ist nicht ganz auf halbem Wege vom Treptower Deep nach Kolberger Deep, etwa $3^1/_2$ km östlich der jetzigen Mündung, zu suchen. Am Unterlaufe des Flusses, wohl auch noch vereinzelt am Kamper See selbst, lag um

1250 das Dorf Rega, das von Fischern und Schiffsleuten bewohnt war. Die Ausmündung des Flusses hatten die Bewohner von Rega zu einer Hafenanlage ausgebaut, die den Namen „Regamünde" führte. Von hier aus betrieben sie ihre Fischerei und Schiffahrt. Der Aufschwung dieser Orte erregte den Neid der benachbarten Städte Kolberg und Greifenberg. Um die Regaer zu schädigen und ihren Handel lahm zu legen, „senkten die Kolberger den Ausfluß zu", indem sie große Steine in die Mündung hineinwarfen. Nach dieser Zuschüttung ihres Hafens war den Bewohnern von Rega-Regamünde ihr weiterer Lebensunterhalt fast unmöglich gemacht. Ohnehin hatten sie ständig unter der Versandung zu leiden, die die Wanderdünen ihrer Feldmark brachten. Jetzt wurden sie auch noch durch das Wasser des Kamper Sees vom Lande her belästigt, weil diesem der glatte Abfluß in das Meer fehlte. Dazu trat 1497 noch eine gewaltige Sturmflut ein, die an der Küste überall viel Schaden anrichtete und auch Regamünde schwer heimsuchte. Infolgedessen trachteten die alten Bewohner danach, sich an anderer Stelle anzusiedeln. Hierzu bot sich ihnen günstige Gelegenheit. Bereits seit 1457 hatte die Stadt Treptow begonnen, dem Regaflusse ein anderes Bett zu graben und ihn von der großen Biegung am sogenannten Bramberge ab unmittelbar auf kürzestem Wege in die Ostsee zu führen. Diese so künstlich hergestellte Mündung entspricht der heutigen. An ihr wurde der Hafen von Treptow, das heutige Treptower Deep — bzw. Ost- und Westdeep (Deep = Tief) — angelegt. Inzwischen war das alte Regamünde immer mehr von der See bedrängt worden. Da verließen schließlich die Bewohner den Ort. Die genaue Zeit hierfür steht nicht fest. Nach der Kirchengeschichte von Robe ist solches im Laufe des 16. Jahrhunderts, etwa im ersten Drittel, geschehen. Die meisten siedelten nach Treptower Deep über; ein kleiner Teil blieb am Kamper See und gründete hier das heutige Kamp.

Allmählich fiel Regamünde mit Rega vollständig der See zum Opfer. In den neunziger Jahren des vorigen Jahrhunderts sollen an der Stelle, wo diese Orte gestanden haben, noch alte Reste baulicher Anlagen und sonstige Zeichen einst hier vorhandener menschlicher Wohnstätten, wie z. B. Anlagen, die Wasserbehältern glichen und als Brunnen gedient haben können, sowie Grabstätten und anderes mehr, noch erkennbar gewesen sein. Heute ist hiervon nichts mehr zu sehen. Die See hat alles weithin überflutet und völlig eingesandet. Wenn jedoch das Wasser der Ostsee nach heftigen Stürmen und bei anhaltenden ablandigen Winden weit vom Ufer zurücktritt, werden diese stummen Zeugen längst vergangener Jahre auf kurze Zeit aufgedeckt, aber stets gleich danach wieder mit einer dichten Sandschicht überzogen. Auch die weit in die Ostsee hinein sich erstreckenden Steinmassen sind nichts als die Trümmer des alten Hafens Regamünde und der von den Kolbergern zur Vernichtung des Hafens verwendeten Stoffe.

Gelegentlich eines sehr weiten Zurücktretens des Wassers ist die Lichtbildaufnahme Text-Abb. 8 ausgeführt worden. Sie läßt deutlich die Spuren alter Grabstätten erkennen, die als Reste des alten Friedhofes der Gemeinden Rega-Regamünde festgestellt sind. Sie liegen jetzt kurz vor der Strandlinie in der Uferschälung und treten nur bei ganz ausnahmsweise niedrigem Wasserstand zutage. Wie groß der Landverlust an dieser Stelle tatsächlich gewesen ist, hat sich mangels jeden weiteren Anhaltes nicht ermitteln lassen. Immerhin kann die Lage dieses Friedhofes, der sicherlich zu der größeren Ortschaft Rega gehört hat, zu mehreren hundert Metern landwärts der damaligen Uferlinie angenommen werden. Die einstigen Bewohner von Rega werden schon aus bestimmten Gründen ihre Grabstätten weit hinter den Wanderdünen angelegt haben. Wenn deshalb nach der Gaedkeschen Feststellung der Untergang der Ortschaften etwa um die Jahre 1520—30 eingetreten ist, würde ein durchschnittlicher jährlicher Abbruch von 1 m nicht zu hoch bemessen sein und auch den Ergebnissen entsprechen, die aus der schwedischen Matrikelkarte von 1695/96 für die Strecke westlich von Dievenow gefunden sind.

Alle diese im vorstehenden als Verlustziffern für ein Jahr angegebenen Landverluste sind selbstverständlich nicht etwa Jahr für Jahr regelmäßig erfolgt. Sie sind vielmehr lediglich als mittlere Jahresdurchschnittswerte der Wirkung von ganz besonderen Kraftäußerungen der Natur anzusehen, die in den betreffenden jahrhundertlangen Zeiträumen eingetreten sind und sich innerhalb dieser in ganz unregelmäßiger Folge wiederholt haben. Beispielsweise waren an der Küstenstrecke beim Streckelsberge während der letzten 40 Jahre vor der Sturmflut 1913/14 keinerlei wesentliche Abbrüche beobachtet worden. An einer Küste, die unter ständigem Abbruch liegt, gibt der Verlustbetrag eines kurzen Zeitraums keinen Maßstab für die Beurteilung des in einem längeren Zeitabschnitte stattfindenden Uferverlustes.

7. Die einzelnen an der Veränderung der Küste beteiligten Kräfte. Die Einwirkungen der Natur auf die Gestaltung und Umbildung des Küstengürtels bestehen, wie bereits auf S. 679 angedeutet, einerseits in solchen der Witterungsverhältnisse, anderseits in solchen des Meeres. Die dabei beteiligten einzelnen umgestaltenden Kräfte bilden für so manche örtliche Kraftäußerung an der Küste die alleinige Ursache. Ihr Wirkungsbereich hat gewaltige Ausdehnung. Er erstreckt sich weit über ein einzelnes Küstengebiet hinaus, an dem ihre Einflüsse zu beobachten sind und untersucht werden sollen, und ist nicht auf den engen Raum der betreffenden Küstenstrecke beschränkt.

Als tätige Kräfte, die umgestaltende Wirkungen ausüben, kommen in Betracht die von den Wellen herrührende strandversetzende Brandung, die durch den Wind hervorgerufenen Meeresströmungen, sowie verschiedene Wasserstandsschwankungen, die ebenfalls auf Einwirkung des Windes zurückzuführen sind. Der Einfluß dieser einzelnen Kräfte auf die Veränderung der Küste ist verschieden. Es kann aber angenommen werden, daß die Wellen und die Strömungen in gleicher Weise umgestaltend tätig sind, da sie in Wechselwirkung auftreten. Die ersteren bröckeln das Ufer ab und ziehen die losgelösten freien Sand- und Tonteilchen in ihren Bereich. Die anderen verfrachten das im Wasser treibende Erdreich, auch das gröbere, längs der Küste, soweit ihre Geschwindigkeit und ihre lebendige Kraft dazu imstande sind. Beide sind in hohem Grade abhängig von der Richtung und Stärke der Winde und stark beeinflußt durch die Linienführung der Küste.

Die Entstehung dieser umgestaltenden Kräfte beruht allein auf dem Einflusse des Windes. Er ist daher die wichtigste in Betracht kommende Naturerscheinung. Seine genau.

Erforschung und eingehende Beobachtung ist bei den Vorarbeiten zu jeder baulichen Anlage am Meere ganz außerordentlich wichtig und unerläßlich. Je stärker der Wind, desto größer ist auch seine umgestaltende Einwirkung, die er mittelbar oder unmittelbar entfaltet.

8. Einfluß der Wellen beim Abbruch des Ufers. Die unmittelbare Hauptrolle bei den verheerenden Angriffen des Meeres auf die Küste bilden die Wellen und ihre Richtung, mithin auch die Winde, die die Wellen hervorrufen und ihnen erst ihre Richtung geben. Die Wellenbewegung ist auch die sichtbarste und allgemeinste Ursache der natürlichen Umgestaltung der Ufer. — Wellen entstehen bei jeder plötzlichen Störung des Gleichgewichts einer unter dem Einflusse der Schwerkraft in Ruhe befindlichen Wassermasse. Daher kommt vor allem für die Erzeugung von Wellen der Einfluß des Windes in Betracht. Die dadurch hervorgerufenen Wellen sind die bekanntesten und kommen am häufigsten vor.

Der Druck des Windes auf die Spiegelfläche des Meereswassers ruft zunächst eine Verschiebung einzelner Teilchen hervor, so daß die Oberfläche rauh und uneben wird. Die so entstehenden Unebenheiten geben dem Winde wieder weitere Angriffsflächen. Es findet dadurch abwechselnd eine Hebung und eine Senkung des Wasserspiegels, ein Schwingen, und außerdem eine abwechselnde wagerechte Verschiebung der Wasserteilchen in der Richtung des Windes, ein einseitiges Fortschreiten der Wellen, statt. Mit wachsendem Winde nehmen die Wellenhöhen zu, bis die Stärke des ersteren und die Höhe der letzteren gleichbleibend werden. Die Größe der Erhebungen und die Geschwindigkeit des Fortschreitens stehen sicherlich in einem bestimmten Verhältnis zur Stärke des Windes.

Im allgemeinen ist die Bewegungsrichtung der Windwellen die gleiche, wie die des Windes selbst. Bei tiefem Wasser schreiten die Wellen in der Richtung des Windes fort. Sie ändern aber ihre bisher zum Winde senkrechte Richtung, sobald der Untergrund ansteigt, und sich dadurch ihre Geschwindigkeit verzögert. Sie schwenken dann infolge der Reibung des Wassers am Grunde allmählich gleichlaufend zu den Tiefenlinien ein und bewegen sich nunmehr senkrecht zu diesen weiter fort. Sie treffen so nicht genau in der Windrichtung auf die Küste, sondern werden durch das weitere Auftreten von Reibungsvorgängen bestrebt sein, einen im Verhältnis zur Windrichtung mehr senkrecht auf die Küste zu gerichteten Verlauf anzunehmen.

Ihre Einwirkung auf das Ufer erklärt sich als eine doppelte. Sie besteht einmal in einem Abgraben, indem beim Auflaufen der Wellen die Oberfläche des Strandes in Bewegung kommt. Dabei werden Teile von ihm losgelöst und in einen schwebenden Zustand versetzt. Zum andern äußert sie sich in einer Fortbewegung, weil die Wellen nicht genau senkrecht, sondern in der Regel etwas schräg auf den Strand auftreffen und nach derselben Seite auch in schräger Richtung zurückfließen. Hierdurch entsteht sogar schon bei einem mäßigen Wellenschlage, der das Ufer nicht ganz senkrecht trifft, eine leichte seitliche Verschiebung des Wassers und damit hart am Ufer eine geringe Strömung in der Richtung des Strandes. Diese führt dann die durch die aufbrandenden Wellen aufgewühlten, den Strand bildenden Sand- und Kieskörnchen mit sich fort.

Aber auch die weiter abgebröckelten gröberen Bestandteile des Ufers bleiben nicht unverändert an Ort und Stelle liegen. Vielmehr vermindern sie unter der Einwirkung der stets wiederkehrenden Wellenangriffe ihre Größe und stürzen allmählich vom hohen Ufer herab in die Brandung. Dort werden sie gleichfalls, leicht über dem Boden schwebend, von den Wellen in steter Bewegung gehalten und vor ihnen her längs des Strandes fortgeführt, um dann durch ihren Stoß immer weiter zerkleinert zu werden. — Im Bereiche dieser eigentlichen Brandungszone erreicht mithin die umlagernde strandversetzende Tätigkeit des bewegten Wassers den Höhepunkt ihrer Wirkung.

Abb. 8. Alter Friedhof von Rega-Regamünde.

9. Mitwirken von Strömungen und Wasserstandsschwankungen. Weiter sind bei den Angriffen auf das Ufer die an jeder Küste auftretenden, verschiedenartigen Strömungen zu berücksichtigen, da sich überhaupt das Meereswasser schon ohne die Einwirkung des Windes in fortwährender, zum Teil sogar regelmäßiger Bewegung befindet. Diese mehr oder weniger stetig in einer Richtung ziehenden Strömungen sind auf Gleichgewichtsstörungen der Wassermassen des Meeres zurückzuführen. Sie werden hervorgerufen teils durch die ungleiche Erwärmung des Wassers, teils durch die Unterschiede im Salzgehalt des Wassers, oder im Einheitsgewicht, im letzteren Falle namentlich durch die geringere Dichtigkeit an den Küsten infolge des Flußwassers. Vor allem aber entstehen Strömungen durch die mit den Flutwellen verbundenen gewaltigen, bis hinab in große Tiefen wirkenden regelmäßigen Schwingungsbewegungen des Wassers, den Gezeiten. In erster Linie aber bilden die Einflüsse des Windes die Ursache, die nicht unerhebliche Meeresströmungen, die sogenannten Triftströme, erzeugt.

Auch die sonstigen verschiedenartigen Wasserstandsschwankungen, die zumeist auf Witterungsursachen zurückzuführen sind, können von größtem Einfluß auf die Umgestaltung der Küste werden. Insbesondere rufen heftige

langandauernde Winde aus ein und derselben Richtung beträchtliche Schwankungen des Wasserstandes, z. B. Sturmfluten hervor. An der Küste vermögen auflandige Winde den Wasserstand bedeutend höher über Mittelwasser erheben, als ablandige ihn darunter hinabsenken können.

10. Tätigkeit des Windes. Die umgestaltende Tätigkeit des Windes macht sich mittelbar oder unmittelbar bemerkbar. Sie ist eine verschiedene, je nachdem aus welchem Quadranten der Wind kommt. Sein Einfluß macht sich in wagerechter Richtung geltend. Seine Kraftwirkungen werden durch die Bodenbeschaffenheit des Landes in verschiedener Weise eingeschränkt, sie können sogar durch sie ganz aufgehoben werden. Die Entstehung des Windes ist in der Luftdruckverteilung begründet. Von ihr hängt stets in gesetzmäßiger Weise Richtung und Stärke des Windes ab. Deshalb setzen sich die Wirkungen von Luftdruck und Wind zusammen, meist so, daß beide Ursachen im gleichen Sinne wirken.

Der Wind wirkt auf die Wasseroberfläche des Meeres im allgemeinen nicht ganz gleichmäßig, sondern stoßweise. Bald fällt er auf eine Stelle, bald auf eine andere ein. Auf hoher See erregt der Wind durch Reibung an der Wasseroberfläche kapillare Wellen, die durch seine Druckseitenkraft vergrößert und vorwärtsgetrieben werden. Er bewirkt mithin eine Verschiebung des Wassers in der Oberfläche und zugleich die Bildung von Wellen. Wahrscheinlich wird der größere Teil der vom Winde dem Wasser zugeführten Kraft dazu benutzt, die Wellenbewegung zu vergrößern, der kleinere, um dem Wasser eine fortschreitende Bewegung zu erteilen.

Neben den Wellenschwingungen entsteht folglich eine Oberflächenströmung, die ihre alleinige Ursache in der treibenden Kraft unablässig in ein und derselben Richtung tätiger Winde hat. Diese Triftströmung, die nur verhältnismäßig seicht und langsam sein kann, vermag zunächst in keiner anderen Richtung zu laufen, als in derjenigen, die der Luftstrom ihr anweist, wird aber dann, durch das Trägheitsgesetz unterstützt, zu einer wirklichen Strömung. Ihre Geschwindigkeit beruht auf der Stärke des Windes. Häufig und schnell wechselnde Winde verursachen naturgemäß nur immer leichte Oberflächenströme. Zugleich tritt aber auch ein Unterstrom auf, weil das Wasser von den Stellen höheren Druckes zurückfließt, was in der Regel entgegengesetzt dem Oberstrome geschieht.

Die Arbeit des Windes beschränkt sich indes nicht nur auf die obersten Wasserschichten. Die innere Reibung des Wassers teilt sich auch den tieferen Lagen mit. Wo demnach dauernde Winde in gleicher Richtung besonders lange Zeit auf die Oberfläche wirken, wird sich allmählich ein Teil der Geschwindigkeit in immer tiefere Schichten fortpflanzen. Mehr und mehr bildet sich dabei ein gewisser bleibender Zustand der Bewegung aus, der sich auch bis in die großen Tiefen, womöglich bis an den Boden, durch die ganze Wassermasse hindurch ausbreitet. Infolge der Beharrung hält er auch dann noch an, wenn die das Zustandekommen der Strömung herbeiführende Ursache, der Wind, aufhört oder sich ändert.

Diese Erscheinung, die den gewaltigen Einfluß der länger aus einer Richtung kommenden Winde auf die Stromversetzung und ihre lebendige Kraft zeigt, läßt sich z. B. vor Pillau häufig beobachten. Nach starken West- und Nordweststürmen zieht der Strom an der Küste noch fortgesetzt nach Osten und treibt das Seewasser durch das Seetief in das Haff hinein, auch wenn sich der Wind schon lange gedreht hat und mitunter sogar unmittelbar aus entgegengesetzter Richtung weht. Am schnellsten folgen die obersten Wasserschichten der Drehung des Windes, während in der Tiefe der frühere Strom weit länger wirksam bleibt.

Zur Erweiterung der Kenntnis der vom Winde erzeugten Meeresströmungen sind von vielen Seiten sehr eingehende wissenschaftliche Untersuchungen angestellt, sowie tatsächliche Beobachtungen durchgeführt worden, da gerade in diesem Teile der Meereskunde besonders verwickelte Erscheinungen auftreten. Insbesondere galt es zu erforschen, ob und inwieweit tatsächlich die Umdrehung der Erde auch auf die Triftströmungen im Meere einen Einfluß ausübt. Ein solcher mußte aber bestehen, da auch die Luftbewegungen im Raume den ablenkenden Kräften der Erdumdrehung unterworfen sind. Weiter war zu untersuchen, in welcher Weise die innere Reibung der Wasserteilchen die Bewegung der Oberfläche den unteren Wasserschichten mitteilt. Es steht inzwischen fest, daß die Strömungen in der Tat durch die Fliehkraft der Erdumdrehung das Bestreben erhalten, von der ihnen durch den Wind erteilten geraden Bahn abzuweichen. Sie werden in nördlichen Breiten aus der Windrichtung nach rechts, in südlichen Breiten nach links abgelenkt. Am Äquator wird der Ablenkungswinkel gleich Null, wie auch die ablenkende Kraft der Erdumdrehung überhaupt. Über die Größe des Ablenkungswinkels herrscht noch keine Übereinstimmung. Die an Bord des Feuerschiffs „Adlergrund“ in der Ostsee durchgeführten regelmäßigen Strombeachtungen haben eine Ablenkung des Stromes von der Richtung des herrschenden Windes um durchschnittlich $2^1/_2$ Strich = rund 29° nach rechts ergeben. Weiter hat Witting (siehe Seite 776) durch genaue örtliche Beobachtung in der Ostsee festgestellt, daß die Ablenkung des Stromes von der Windrichtung — bei den von ihm betrachteten, im freien Meere gelegenen Stationen — im Mittel etwa 19° rechts beträgt, und daß sie vor allem mit der Windstärke abnimmt. Dagegen kommt Ekmann (siehe Seite 776) in seiner sehr beachtenswerten Triftstromlehre, die sich mit der Bewegung des Wassers unter der Einwirkung von Wind, innerer Reibung und Erdumdrehung beschäftigt, zu der Behauptung, daß die oberste Meeresströmung dauernd einen Winkel von 45° mit dem sie erzeugenden Winde bildet, und zwar auf der nördlichen Halbkugel nach rechts, auf der südlichen nach links. Dabei hat er allerdings einen unendlich großen und tiefen Ozean, über den ein Wind von überall gleicher Richtung und Stärke weht, vorausgesetzt und bei Annahme derartig unbegrenzter Verhältnisse allein die Bewegungen untersucht, die durch die unmittelbare Wirkung des Windes und der Erdumdrehung bedingt werden. Solche Strömungen nennt er „reine Triftströme“. Ihre Tiefe wird in Wirklichkeit nicht unter ein gewisses Maß reichen, da der Wind in unmittelbarer Weise naturgemäß nur in immerhin sehr beschränkte Tiefen unter der Wasseroberfläche, etwa 5 bis 6 m, wirken kann. Die Bewegung des Wassers in dieser Oberflächenschicht wird dann vermittels der Reibungskraft, die ein Wasserteilchen auf ein benachbartes ausübt, auch in die weiter tiefer liegenden Wasserschichten übertragen. Hierfür findet Ekmann in seinen wissenschaftlichen Untersuchungen, daß die von der

Erdumdrehung herrührende Ablenkung im Verhältnis der Tiefe zunimmt. Es entsteht dementsprechend in gewisser Tiefe ein Strom, der dem Oberflächenstrom gerade entgegengesetzt laufen muß. Ekmann geht sogar noch weiter und unterscheidet drei übereinanderliegende Strömungen, von denen der „Oberflächenstrom" und der „Bodenstrom" in bezug auf Stromrichtung und Geschwindigkeit mit der Tiefe wechseln, während der zwischen ihnen laufende „Tiefenstrom" in allen Tiefen gleich sein soll.

Diese Lehre ist selbstverständlich von vielen Seiten angefochten worden, vor allem deswegen, weil sie nur auf ganz weit gesteckten Annahmen aufgebaut ist. Ekmann hat selbst ausdrücklich nicht die Wirkungen berücksichtigt, die auftreten müssen, wenn der Windstrom eine bestimmt beschränkte Breite hat.

Für die vorliegende Betrachtung scheiden die im freien Meere streichenden Triftströmungen völlig aus, da sich von ihnen keinerlei umgestaltende Einwirkung auf die Küste und den Meeresboden vor ihr erwarten läßt. Sie können nur dann in Betracht kommen, wenn sie sich der Küste nähern und von dieser in ihrem Laufe beeinflußt werden. Dieser Fall tritt aber auch bei den von Ekmann untersuchten Oberflächenströmungen ein, da sie ohnehin nicht dauernd „reine Triftströme" bleiben werden. Irgendwann müssen sie unbedingt an anders bewegte Meeresteile und vor allem an das Land grenzen. Dann verlieren sie ihre ursprüngliche Eigenschaft, da sie mit der Annäherung an die Küste Veränderungen in der Höhe der Wasserstände hervorrufen, und werden so zu Stauströmen, die unter Einwirkung des Windes an der Küste entlang laufen.

Ganz besonders treten solche Stauwirkungen, namentlich an Küsten mit flachem Strande, bei unmittelbar auflandigen Winden ein. Das durch den Wind gegen die Küste getriebene Wasser wird hier aufgestaut und kann, da es am Boden Widerstand findet, nicht so schnell wieder zurückströmen, wie es der Wind herantreibt. Es wird seitlich verschoben und fließt infolgedessen längs der Küste in der Richtung des Windes ab. Dadurch entsteht gleichfalls ein unmittelbarer Küstenstrom. Seine Stärke hängt, abgesehen von der Windstärke, wesentlich von dem Winkel ab, den die Windrichtung mit dem Verlauf der Küste bildet. Nach Wittings oben genannten Beobachtungen nimmt die Stromstärke ziemlich genau mit der Quadratwurzel der Windgeschwindigkeit zu.

Die Bewegung der Luft ist namentlich in den niedrigen Lagen zum großen Teil durch die Beschaffenheit des Landes bestimmt. Ganz besonders ist aber solches für die Wasserbewegung im Meere, das überall von den Wänden des Festlandes eingeschlossen ist, der Fall. Das Wasser muß dem Lande ausweichen. Deshalb sind die Küsten des Festlandes, wie alle Stromkarten zeigen, im höchsten Grade bestimmend für die Richtung der Meeresströmungen. Diese können aber nicht immer der ihnen von den herrschenden Winden ursprünglich erteilten Richtung folgen, auch nicht den durch die Dichtigkeitsunterschiede unmittelbar bedingten. Sowohl die Richtungen der Küsten, als die ganze Bodengestaltung beeinflußt zusammen mit den Bewegungskräften den Weg und die Geschwindigkeit der Strömungen.

Weitere sehr wichtige Einflüsse der Küste und der Form des Meeres auf die Oberflächenströmungen hat Witting durch seine Beobachtungen festgestellt. Danach werden die Strömungen derart umgeformt, daß die längs der Küste streichenden in ihrem Laufe begünstigt, diejenigen gegen die Küste dagegen abgeschwächt werden. Die durch die Erdumdrehung hervorgerufene Ablenkung der Strömung nimmt zwar mit der Windstärke ab und wird bei verschiedener Stromrichtung vergrößert oder vermindert. Wichtig ist aber, daß dadurch stets die Bewegung der Küste entlang begünstigt, eine bereits vorhandene Küstenströmung mithin verstärkt wird.

11. Sturmfluten im allgemeinen. Anhaltende starke Winde, noch mehr aber Stürme beeinflussen ganz besonders die Höhenlage des Wassers. Je heftiger die Winde wehen, je mehr sie zu starken Stürmen anschwellen, desto größer wird naturgemäß ihre Wirkung auf die Erhebung des Wasserspiegels. An den Küsten des Meeres tritt bei Stürmen das Anstauen des Wassers zuweilen äußerst kräftig auf. Hier rufen die Stürme mitunter Erhebungen von mehreren Metern hervor, so daß diese damit weit über den gewöhnlichen Höchstwasserstand hinauswachsen. Diese außerordentlichen Wasserstandsschwankungen sind die so gefährlichen Sturmfluten, die, völlig unabhängig vom Wechsel der Gezeiten, nur allein vom Winde erzeugt werden. Ihre verheerende Wirkung auf die Küsten wird noch ganz erheblich durch die von den Stürmen zugleich verursachte Bildung großer Wellen, des hohen Seeganges, verstärkt. Ohnehin ist für das Meeresufer der Wellenschlag noch weit gefährlicher als die Höhe, bis zu welcher der Wind den Wasserspiegel hebt.

Diese wichtigen Naturereignisse verdienen deshalb nicht nur hinsichtlich der Wetter- und Wasserverhältnisse ganz besondere Beachtung, sondern vor allem deswegen, weil gerade ihre umbildende Einwirkung auf die Gestalt der Küstenlinie bei weitem am größten ist.

Bei Sturmfluten ist die Erhebung des Wassers an der dem Winde zugekehrten Küste größtenteils die Folge der Verschiebung einer gewissen Wassermenge durch den Wind in dessen Richtung. Ein gegen die Küste wehender starker Sturm treibt die Wassermassen vor sich her, so daß eine Anstauung gegen die Küste stattfindet. Je mehr die Küstenentwicklung den schnellen Abfluß des Wassers hindert, um so höher wird die Sturmflut. Sie nimmt mit der Stärke und der Dauer des Sturmes zu und erreicht die größte Höhe, wenn der Wind über die breiteste Wasserfläche weht. Besonders wird die Erhebung dann bedeutend sein, wenn der Sturm in eine sich trichterförmig verengende Bucht hineinweht. Hier wächst die Höhe der Sturmflut mit dem Fortschreiten in der Bucht, wo sie ein stets engeres Bett findet.

Erzeugen in den Meeren mit Tidewechsel die Gestirne zu gleicher Zeit Hochwasser, dann wird die Sturmflut dort entsprechend verstärkt. Die Größe der Fluterhebung wirkt wesentlich auf das Ergebnis der Sturmflut ein. Deshalb ist die Zeit der Springfluten unter gleichen Umständen gefahrbringender als die anderen. Immerhin überwiegen doch beim Zustandekommen der Sturmfluten in erster Linie der Einfluß der Stürme und die von ihnen hervorgerufenen Wasseranstauungen. Die etwa gleichzeitig auftretenden Flutwellen üben nur eine mitwirkende Tätigkeit aus. Namentlich ist solches in der Nordsee der Fall, wo in erster Linie die Wirkung des Windes zur Bildung der Sturmfluten beiträgt. Insbesondere ist für die deutsche Nordseeküste wegen ihrer buchtartigen





Abb. 9. Uferabbruch an der pommerschen Küste westlich vom Streckelsberge infolge der Sturmflut von 1913/14.

Gestalt und der damit verbundenen Folgen bei Sturmflut der Nordwestwind der bei weitem verderblichste.

Auch die Sturmfluten der Ostsee haben nichts gemein mit den großen durch die Sterne bestimmten Fluten, den Gezeiten des Weltmeeres. Sie stellen sich gleichfalls lediglich als reine Windfluten dar und kommen überhaupt nur unter ganz bestimmten Bedingungen zustande. Zunächst müssen vorher längere Zeit West- und Südwestwinde geweht haben. Diese veranlassen dann einen starken Zufluß von Wasser aus der Nordsee durch Sund und Belte, der das Ostseebecken weit über seinen gewöhnlichen Stand füllt. Anderseits drängen sie das Wasser in die östlichen Beckenteile der Ostsee hinein und stauen es hier hoch an. Tritt dann ein plötzlicher Tiefstand ein und schreitet in östlicher Richtung, etwa in der Linie Hamburg, Lübeck, Swinemünde fort, dann springt der Wind infolge dieser Luftdruckverteilung auf Nordost um. Das wieder westwärts getriebene Ostseewasser kann jetzt nicht schnell genug abfließen. Die Wassermassen werden auf die südlichen und westlichen Gestadeländer hinübergeworfen und hier hoch auf die Ufer hinaufgetrieben. Dabei wird die Erhebung des Wasserstandes durch die nach Westen zu trichterförmige Gestalt des Beckens und der einzelnen Buchten noch begünstigt.

12. Die Sturmflut von 1913/14 und ihre Wirkung auf die Küste der Ostsee. Auch die letzte Sturmflut Ende 1913 und Anfang 1914 hat die allgemeinen Erfahrungen von früher durchaus bestätigt. Wie die Wetterkarten der deutschen Seewarte deutlich bewiesen, gingen der Flut sehr stürmische Westwinde voraus, die wochenlang zuvor in recht erheblicher Stärke geweht hatten. Sie waren durch wandernde Tiefdruckgebiete bedingt, die von der Nordsee herkamen. Nachdem sie an den südbaltischen Küstenländern vorbeigezogen waren, hatte sich mittlerweile am 29. Dezember 1913 ein Hochdruckgebiet über Skandinavien und der nördlichen Ostsee mit einem deutlichen Tiefdruckwirbel an der mittleren Ostseeküste mit östlich fortschreitender Neigung stark ausgebildet. Hieraus entwickelte sich dann in verhältnismäßig kurzer Zeit der gefahrbringende Nord- und Nordostwind, dessen schnelles Anschwellen zu orkanartiger Stärke die zweimal verheerende Sturmflut brachte.

In der Tat waren die bis dahin aus westlicher Richtung kommenden Winde im Laufe des 29. Dezember 1913 aus Norden und in der Nacht zum 30. Dezember 1913 weiter herum auf Nordost gesprungen. Am nächsten Morgen hatte dann nach der Wetterkarte der Luftdruck über Skandinavien stark abgenommen. Das Tiefgebiet war unter weiterer Vertiefung in südöstlicher Richtung abgedrängt und durchzog

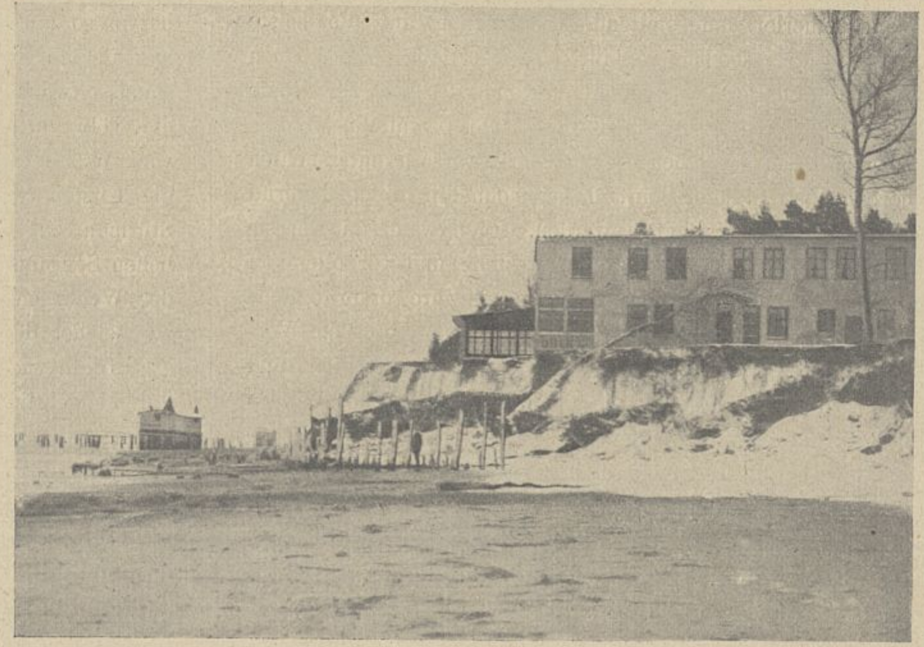


Abb. 10.

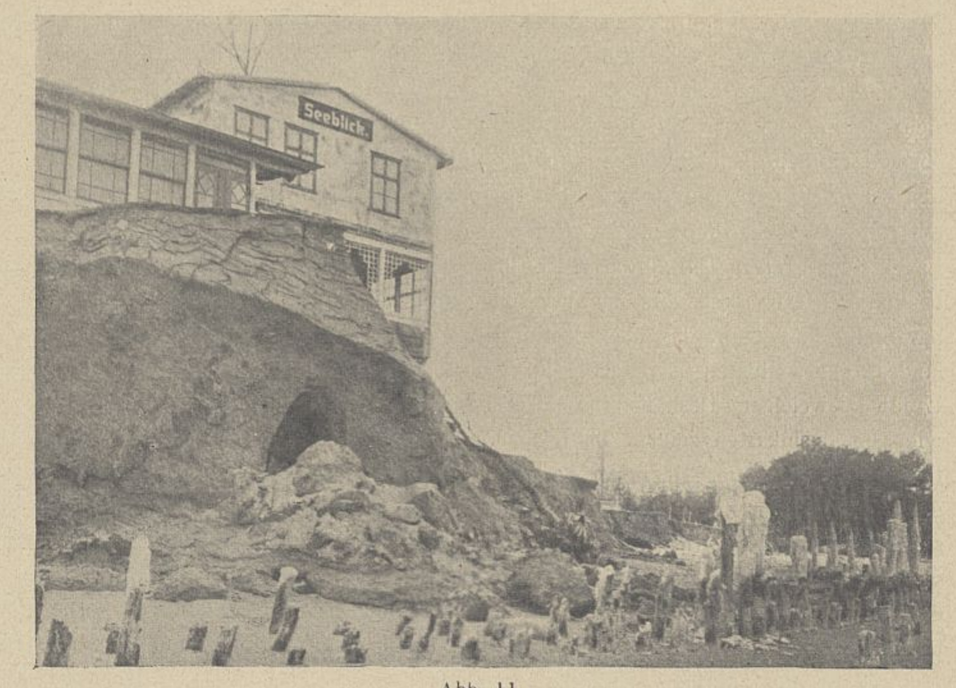


Abb. 11.

Abb. 10 u. 11. Uferabbruch an der pommerschen Küste vor Koserow (bei Villa Seeblick) infolge der Sturmflut von 1913/14.

Deutschland vom Westen nach Osten. Diese starken Luftdruckgegensätze an der Nordseite des Tiefdruckwirbels lösten sich unter diesen Umständen im Laufe des Tages in Stürme aus Norden bis Nordwesten aus, die über 15 Stunden lang anhielten. Sie waren indes durchaus nicht sehr heftig. Aber infolge ihrer langen Dauer und ihrer für die deutsche Küste wegen der Überfüllung des Ostseebeckens ungünstigen Richtung stauten sie die Wassermassen an der Küste ungewöhnlich hoch an und riefen überall an den Ufern außerordentlich umfangreiche und stellenweise auch sehr schwere Beschädigungen hervor. Verschiedentlich wurden Windstärken bis zu 10 und 11 der Beaufortschen Skala gemessen. In Pillau zeigte der dortige selbsttätige Windmesser als größte Windstärke 20,4 m/sek. aus Norden an, die allerdings auch schon früher häufiger dort beobachtet war. An der pommerschen Küste, besonders bei Swinemünde, betrug dagegen die größte beobachtete Windgeschwindigkeit noch etwas mehr, rund 25 m/sek., d. i. Stärke 9 nach Beaufort.

Während bei den früheren Sturmfluten das Wasser nach Erreichung des höchsten Standes bisher stets sehr schnell abgefallen war, geschah dagegen der Abfall diesmal sehr langsam. Z. B. stand in Swinemünde während 18 Stunden das Wasser höher, als die mittlere Überflutungshöhe der älteren Bollwerke. Gerade auf dieses langsame Fallen des Wassers als Folge des durch das plötzliche Umspringen der Stürme hervorgerufenen ungewöhnlich langen Anstauens des ganzen Ostseebeckens war in der Hauptsache die schwere Wirkung der Sturmflut zurückzuführen.

Bei dem ersten Teile der Sturmflut ging bereits am 29. Dezember 1913 an allen Küstenorten ein zwischen 50 und 90 cm schwankender Wasserstand über N.N. der eigentlichen Flutwelle voraus. Danach stieg das Wasser in den südwestlichen Teilen der Ostsee weiter bis fast 2 m über N.N. —, in Swinemünde 1,83 m (N.N. = —0,03 M.W.), in Arkona 1,74 m, in Warnemünde 1,88 m —, während an den östlichen Stellen, wie Stolpmünde, Pillau, Memel, der Wasserstand nicht viel über 1 m N.N. erreichte. Der Wasserstand in Swinemünde kam damit fast genau auf die Höhe der bisher bekannten höchsten Sturmflut vom 15. Februar 1874, d. i. rd. 2 m über M W.

Vor dem zweiten Teile der Flut dagegen, der sich am 9. bis 10. Januar 1914 ereignete, wurde im westlichen Teile der Ostsee, etwa bis Stolpmünde hin, am 8. Januar mittags überall ein Wasserstand bis zu 80 cm unter N.N. beobachtet. Aus diesem Abfall geht hervor, daß hier inzwischen bereits eine erhebliche Rückströmung des angestauten gewesen Wassers aus dem Ostseebecken wieder nach der Nordsee eingetreten war.

An den weiter östlich gelegenen Orten war bis zur gleichen Zeit das Wasser jedoch noch nicht soweit gefallen. Hier hielt der von der ersten Sturmflut herrührende Aufstau der Wasserfläche die schon allgemein begonnene Zurückströmung der Wassermassen aus den östlichen und nördlichen Teilen des Ostseebeckens noch auf.

Das Ansteigen des Wassers infolge der Sturmflut geschah im Laufe des 9. Januar 1914 sehr schnell, weit schneller als das erste Mal, blieb aber im allgemeinen um 20 bis über 30 cm, in Swinemünde sogar um 55 cm, hinter dem Wasserstande der ersten Sturmflut zurück. Immerhin stieg das Wasser bei Pillau noch 10 cm über den Stand der bis dahin bekannt gewesenen Sturmflut hinaus. Infolgedessen war auch an den westlichen Küstenstrecken bei Swinemünde usw. diesmal die Wirkung der Sturmflut wesentlich geringer. Dagegen wurden an den östlichen und nordöstlichen Strecken,



Abb. 12.



Abb. 13.

Abb. 12 u. 13. Beschädigungen der Uferschutzwerke vor dem Streckelsberge infolge der Sturmflut von 1913/14.

wie bei Pillau usw., größere Beschädigungen hervorgerufen.

Seit der beispiellos schweren Sturmflut vom 13. November 1872 hat die deutsche Ostseeküste ein solches Unglück nicht mehr erlebt. Selbst die bedeutendste der vorangegangenen Fluten, die am 30. Dezember 1904, also auf den Tag genau 9 Jahre zuvor, hat nicht soviel Verwüstungen angerichtet, wie die letzte. Überall längs der ganzen Küste waren gewaltige Zerstörungen und erhebliche Landverluste eingetreten. Und gerade die oben genannten Stellen, an denen bereits bisher eine beständige Abnagung des Ufers durch die See beobachtet wurde, haben der jüngsten Flut wiederum bedeutende Opfer bringen müssen.

So war auch der auf Seite 689 erwähnte Steinwall von Brüsterort nahezu vollständig zerstört worden. Infolgedessen hatten die Wellen den Fuß des Steilufers unmittelbar bespült und dabei zum Teil umfangreiche Einstürze der steilen Wände hervorgerufen. Ohne Zweifel würde aber der Landverlust hier noch weit erheblicher gewesen sein, wenn der Steinwall nicht vorhanden gewesen wäre. Er hat sich als dringend nötig erwiesen, und nach seiner erfolgten Wiederherstellung wird auf seine sorgfältigste Unterhaltung dauernd ganz besonders Bedacht zu nehmen sein.

Am schwersten wurde die pommersche und die mecklenburgische Küste heimgesucht. Überall waren hier die hohen Ufer in mehr oder weniger Breite abgebrochen, weil sie nirgends einen genügend breiten Strand besaßen und auch sonst zumeist durch keinerlei künstliche Werke geschützt waren. An der Steilküste der Insel Usedom, die der Gewalt der Sturmflut unmittelbar offen entgegenlag, hat der Landverlust stellenweise bis zu 15 m Breite betragen. Besonders war solches der Fall auf der Strecke beiderseits vom Streckelsberge (Text-Abb. 9). Dabei ging z. B. auch der ganze vordere Teil eines zu Koserow gehörigen Hauses, der Villa Seeblick, mit verloren (Text-Abb. 10 und 11).

Ebenso waren die an der ganzen pommerschen Küste vorhandenen Uferschutzbauten teilweise recht erheblich beschädigt, zum Teil auch gänzlich zerstört worden. Am meisten hatten in dieser Beziehung die auf Seite 685—687 genannten festen Bauwerke am Streckelsberg gelitten (Text-Abb. 12 u. 13). Ein Teil der schrägen Deckwerke, die sich bis 6 m über M.W. an dem Steilhange hinaufzogen, war vollständig eingestürzt. Auch die kräftigen Betonmauern waren stellenweise durchbrochen worden, nachdem der Hinterfüllungsboden der Werke nahezu auf ihre ganze Ausdehnung von der See herausgespült und mit fortgeführt war. Infolgedessen stürzten die Böschungen des Berges überall von oben her nach. Das gab schließlich die Veranlassung zu dem vollständigen Zusammenbruche der einen, im Jahre 1897 erbauten

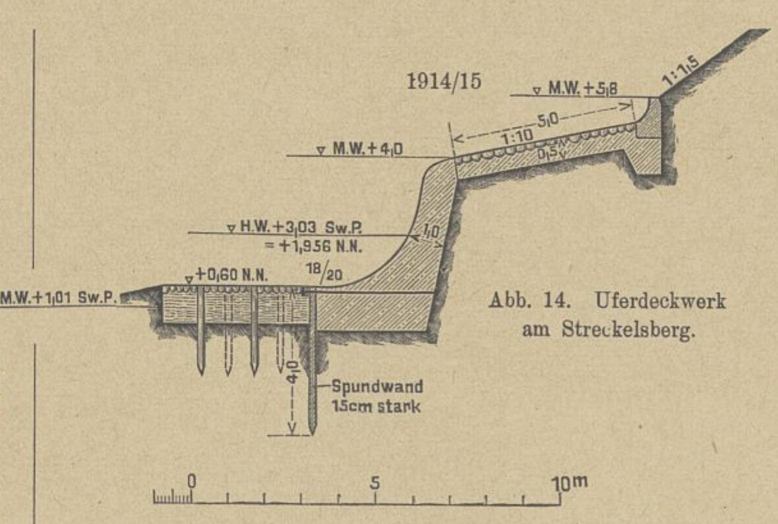


Abb. 14. Uferdeckwerk am Streckelsberg.

Uferdeckwerksstrecke, weil sie ihres Haltes völlig beraubt wurde.

Die Zerstörung dieser Ufermauer hatte ihren Grund darin, daß die außen vor ihr vorgerammte Spundwand mit ihren nur 2,5 m langen Bohlen weder dicht, noch vor allem tief



Abb. 15. Durchbruch des Damerower Seedeiches infolge der Sturmflut von 1913/14.



Abb. 16. Durchbruch der Ostsee nach dem Kölpinsee infolge der Sturmflut von 1913/14.

genug war (Text-Abb. 6). Sie wurde an einzelnen Stellen durch den Sog der Wellen unterspült. Dadurch bildeten sich tiefe Kolke aus, und infolgedessen kippte die Spundwand stark nach außen über. — Die alsbaldige Beseitigung dieser Schäden war zur Erhaltung des Streckelsberges nicht nur dringend nötig, sondern erheischte auch die größte Sorgfalt. Hierbei konnten aus der Art der Zerstörung so mancherlei lehrreiche Schlüsse und Folgerungen gezogen werden, deren Nutzanwendung bei den ausgeführten Wiederinstandsetzungs- und Erneuerungsarbeiten an den Uferschutzwerken bessere Erfolge als die bisherigen versprechen läßt. Unter anderen wurde als Ersatz der auf Text-Abb. 14 dargestellte Querschnitt für die Ufermauer zur Anwendung gebracht, sowie der Fuß der Mauern, die stehengeblieben waren, durch Vorrammen einer tieferen Spundwand und Vorsetzen einer schweren Steinpackung auf Faschinenunterlage gegen Unterspülung geschützt (Text-Abb. 6). Auch soll die Mauer nach Osten um weitere 200 m verlängert werden, wofür der Querschnitt auf Text-Abb. 14 in Frage kommt.

Abb. 17. Durch die Sturmflut von 1913/14 vollständig weggeschwemmte Vordüne bei Berg-Dievenow.

Auch die Dünen an der pommerschen Küste, die sämtlich wohlgepflegt und stellenweise sehr kräftig ausgebildet waren, wurden schwer betroffen. Umfangreiche Abspülungen hatten an den niedrigen Flachküstenstrecken stattgefunden. Beispielsweise war der ganze Dünenzug, der den Kölpinsee auf Usedom von der offenen See trennte und dessen Höhe über 3 m betrug, vollständig fortgeschwemmt worden. Gleichzeitig hatte sich hier nach der Sturmflut ein „Tief“ gebildet (Text-Abb. 16), durch das der Kölpinsee mit der Ostsee in unmittelbare Verbindung gebracht war, ein Beweis dafür, wie unerwartet und regellos die Entstehung von „Tiefs“ an Flachland-Küstenstrecken vor sich gehen kann. Auch der hinter der Düne zwischen Zempin und Koserow gelegene Damerower Seedeich war auf eine größere Strecke durchbrochen worden, und die Flut über ihn hinweg weit nach binnen geströmt (Text-Abb. 15).



Abb. 18. Durch die Sturmflut von 1913/14 beschädigtes Haus hinter der weggeschwemmten Vordüne bei Berg-Dievenow.

Ebenso waren die niedrigen Dünen bei Berg-Dievenow der Sturmflut zum Opfer gefallen (Text-Abb. 17). Sie wurden auf der ganzen Länge der schmalen Halbinsel vollständig weggespült, so daß das Hochwasser der See an einigen besonders tief gelegenen Stellen ungehindert darüberhinweg bis in den Kamminer Bodden hinein gelangte. Dabei wurden auch einige Häuser, die dicht hinter der Düne gestanden hatten, zum Einsturz gebracht. Andere erlitten mehr oder weniger große Beschädigungen (Text-Abb. 18 u. 19).



Abb. 19. Überströmen der Ostsee über die Dievenow-Halbinsel nach dem Kamminer Bodden infolge der Sturmflut von 1913/14.

An den Küstenstrecken, wo die Dünenkette größere Höhen aufwies, war der Dünenkörper von der Sturmflut nur angeschnitten worden. Er hatte hier weder eingeebnet, noch durchbrochen werden können. Immerhin hatten sich allenthalben die Dünen im wesentlichen gut bewährt. Daß sie zum Teil von der Sturmflut weggewaschen waren,

entsprach schließlich ihrer Zweckbestimmung; das soll und kann auch nicht verhindert werden. Der aus den zerstörten Dünen ausgewaschene Sand hatte sich unter dem Einfluß der Küstenströmung an anderen Stellen der Küste wieder abgelagert. Dadurch war streckenweise der Strand auffällig breiter geworden. Auch hatte er sich dort, wie beispielsweise vor den Ortschaften Dievenow, wo er zuvor vollständig kiesig war, ganz mit dem feinen Dünensande überzogen. Diese an sich willkommenen Erscheinungen sind jedoch infolge der großen Beweglichkeit des Sandes niemals von langer Dauer. Sie erwecken leicht Hoffnungen und geben zu Täuschungen Anlaß, wie nach Seite 685 früher in ähnlicher Weise geschehen war.

13. Einfluß der in die See einmündenden Flüsse. Außer dieser Nagewirkung des bewegten Meeres, die mit Wasserstandsschwankungen und ständigen Ausgleichbewegungen in Form wagerechter und lotrechter Verschiebungen verbunden ist, werden die Küsten endlich noch durch die Ablagerung der einmündenden Flüsse dauernd verändert. Ihr ausgehender Strom verdrängt die in der Küstenrichtung vorrückenden Sandmassen nach See zu und vermehrt sie zudem noch, da er meistens auch seinerseits reichlich Sinkstoffe mit sich führt. Den gleichen Einfluß üben auch die an den Seetiefs der Haffe auftretenden, zeitweilig starken örtlichen Strömungen aus, die sich bei auflandigen Winden als eingehende und nach dem Abflauen des Windes als ausgehende Ströme äußern.

14. Wasserbewegungen in der Ostsee. In der Ostsee können drei vom Winde unabhängige Hauptströmungen als vorhanden angenommen werden.

Da die Ausdehnung der Ostsee einschließlich des Bottnischen Meerbusens, der hinzugerechnet werden muß, in der Richtung von Süden nach Norden 12 Breitengrade — 54 bis 66 — umfaßt, so finden naturgemäß zwischen beiden Endpunkten große Unterschiede in den Wärmegraden statt. Diese müssen sich in zwei entgegengesetzten Ausgleichströmungen äußern, und zwar herrscht eine kalte Strömung, die nach Süden gerichtet ist, und ihr entsprechend eine warme, die von Süden nach Norden fließt. Hierzu kommt noch der Unterschied in der Dichtigkeit zwischen dem salzreichen Nordseewasser und dem salzärmeren Ostseewasser. Da die Dichtigkeit des Nordseewassers größer ist, als die des Ostseewassers, hat die Nordsee im Gleichgewichtszustand einen tieferen Stand. Es muß deshalb ein Oberstrom mit geringerer Dichtigkeit aus der Ostsee zur Nordsee fließen, während zur gleichen Zeit als Ausgleich ein Unterstrom aus der Nordsee einläuft, der der Ostsee schweres Salzwasser von größerer Dichtigkeit zuführt.

Der Beginn des kalten und zugleich salzarmen Oberflächenstromes ist bereits im hohen Norden des Bottnischen Meerbusens beobachtet worden. In seinem weiteren Verlaufe bewegt er sich in einer Richtung, in der die Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde immer größer wird. Infolge der Schwerfälligkeit seiner Wassermassen kann er ihr aber nicht folgen und wird deshalb an das westliche Ufer der Ostsee gedrängt. Hier zieht er sich weiter an diesem entlang und strömt dann um die Südküste Skandinaviens herum. Schließlich gelangt er durch die drei Meerengen zwischen Schweden und dem Festlande in die Nordsee, wo er von einem Arm des Golfstroms aufgenommen wird.

In der östlichen Ostsee macht sich das leichtere Oberflächenwasser nur sehr wenig bemerkbar. Es ist hier durch die vom Winde erzeugten Triftströme verdeckt, die entsprechend dem Auftreten des Windes nach den verschiedensten Richtungen gehen können.

Die aus der Nordsee eindringende salzreiche Tiefenströmung ist infolge ihrer Ausbreitung über die Kieler Bucht und weiter bis zur mecklenburgischen Küste hin nur etwa bis Darsserort hin erkennbar. Von hier aus verliert sie allmählich den ursprünglichen hohen Salzgehalt, weil sie beim Überschreiten flacherer Gebiete stark mit Oberflächenwasser vermischt wird. So geht der ursprüngliche salzreiche Unterstrom in die dritte der herrschenden Strömungen über, die den Ausgleich für den kalten Oberflächenstrom aus dem Bottnischen Meerbusen darstellt, und deshalb das Bestreben hat, nach Norden zu fließen. Dabei erfährt sie jedoch durch die mit der geographischen Breite abnehmende Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde eine merkliche Ablenkung. Sie eilt der Erde voraus und lehnt sich an die südlichen und dann an die ostwärts belegenen Ufer an. Auf diesem Wege nimmt sie das Süßwasser des Haffs, der Oder und Weichsel, sowie der übrigen einmündenden Flüsse auf und zeigt sich daher als warmer Oberflächenstrom, der längs der pommerschen Küste bis zur Danziger Bucht als östliche und von hier aus dem Verlaufe des Ufers folgend weiter als nördliche Uferströmung auftritt.

Außer diesen nahezu ständigen Strömungen wird der Wasserstand in der Ostsee weiter auch durch das Auftreten von Ebbe und Flut in der Nordsee beeinflußt. Durch diese Erscheinung wird der Gleichgewichtszustand zwischen der Nord- und Ostsee ständig gestört. Da sich die von der ungleichen Dichte herrührenden Höhenunterschiede zwischen beiden Meeren stets schnell ausgleichen, müssen auch die durch andere Ursachen bedingten Wasserstandsschwankungen beider Meere gleichlaufend und auf eine gemeinschaftliche Ursache zurückzuführen sein. Diese Ursache stellt ohne Zweifel der Atlantische Ozean mit seinen großschwingigen Bewegungen dar, mit dem die Nordsee in unmittelbarster Verbindung steht. Von ihm erhält die Nordsee auch ihre Flutwelle, von dort her fließt die auf der Abnahme des Salzgehaltes und damit des Einheitsgewichtes des Meereswassers beruhende Strömung zur Nordsee und von ihr weiter in noch viel stärkerem Grade zur Ostsee ab. Der Wasserstand in Ost- und Nordsee muß deshalb unter dem Einflusse der Wasserstandsschwankungen im Atlantischen Ozean stehen. Durch die Gezeitenbewegung des Weltmeeres wird mithin auch in der Ostsee eine entsprechende Bewegung, wenn auch in ganz geringem Maße, hervorgerufen. Es handelt sich um in kurzen Zeitabschnitten wiederkehrende Bewegungen, die sich an der pommerschen Küste durch ganz geringe Hubhöhen, z. B. in Swinemünde 2 cm, kaum wahrnehmbar machen. Nach Osten hin nehmen die Tiden im allgemeinen ab; an der deutschen Ostgrenze haben sie nur noch wenige Millimeter Höhe. Am samländischen Strande sind Unterschiede von nur etwa 1,75 cm beobachtet worden. Die Gezeitenerscheinung hat daher in der Ostsee weder für Hafenbauten Bedeutung, noch spielt sie bei der Veränderung der Küste eine wirksame Rolle.

Somit befindet sich das Wasser der Ostsee auch ohne die Einwirkung des Windes bereits in fortgesetzter, mehr oder

weniger starker Bewegung. Der Wind befördert diese Bewegung in erheblichem Maße und trägt dadurch mittelbar bei zu der ständigen Veränderung der Ostseeküste, die durch die Einwirkung der am Ufer entlang streichenden Strömungen eintritt.

Der größte Einfluß des Windes auf die Ostsee, der sich in der Entstehung der in umgestaltender Beziehung wichtigen Sturmfluten äußert, ist bereits oben betrachtet worden. Aber auch schwache Winde erheben den Spiegel der Ostsee bereits leicht über den mittleren Stand und bringen Erhebungen und Senkungen hervor, die gleichfalls auf die Umgestaltung des Ufers einwirken. Bei umschlagenden Winden sind nicht selten von einem Tage zum anderen Schwankungen in der Wasserhöhe bis zu 0,5 m beobachtet worden.

15. Vorherrschende Windrichtung in der Ostsee. Die vorherrschende Windrichtung im Gebiete der Ostsee ist im Jahresdurchschnitt ganz allgemein die westliche. Etwa 45 vH. aller auftretenden Winde kommen aus westlicher Richtung, d. i. etwa zwischen SW und NW. Das geht aus den allgemeinen Witterungsverhältnissen des Ostseegebietes hervor.

Im Winter nimmt der Luftdruck über Mittel-, Ost- und Nordeuropa im allgemeinen von SO nach NW ab. Der mittlere Luftdruck wird am niedrigsten über Nordwesteuropa mit einem Tiefpunkt bei Island, dagegen am höchsten über Rußland, wo ein Hochdruckgebiet stark entwickelt ist. Dann haben im deutschen Küstengebiete die Linien gleichen Druckes annähernd dieselbe Richtung, wie die Küste selbst. Deshalb treten hier auf Grund der Ablenkung durch die Erdumdrehung am häufigsten Winde aus SW, sowie aus den benachbarten Richtungen W und S auf. Danach sind die entgegengesetzten aus SO am häufigsten. An der ostpreußischen Küste sind sogar Winde aus S und SO zahlreicher, was sich aus dem Umbiegen der Küste nach N erklärt.

Anders liegen die Verhältnisse im Sommer. Die große Landmasse hat sich stärker erwärmt als das Meer. Die Luft über dem Lande ist wärmer und dementsprechend auch leichter geworden, als über dem Meere. An Stelle des Hochdruckgebietes im Innern des europäisch-asiatischen Kontinents liegt jetzt eine Vertiefung, die sich auch weiter nach Westen hin ausdehnt. Der höchste Luftdruck ist über das westliche Europa und damit auch über fast ganz Deutschland verschoben. Dadurch ist der ganze Windaufbau gewissermaßen um einen Viertelquadranten nach Westen gedreht. Die Winde aus W und NW gewinnen in dieser Jahreszeit die Oberhand. Namentlich überwiegen jetzt an der deutschen Ostseeküste die westlichen Winde.

In der Tat ist aus den regelmäßigen Aufzeichnungen, die auf den verschiedenen „Wetterstationen" an der See, den Sturmwarnungsstellen, z. B. in der östlichen Ostsee in Pillau, Palmnicken und namentlich Brüsterort und Neukuhren, geschehen, zu ersehen, daß weit über die Hälfte des Jahres an der ostpreußischen Küste der Frischen Nehrung, sowie des Samlandes westliche Winde herrschen.

Auch an der ganzen pommerschen und mecklenburgischen Küste sind die gleichen Beobachtungen gemacht worden. Insbesondere hat sich für den Küstenstrich von der Swine bis zum Darß folgende Übersicht der „Jahresmittel der Windhäufigkeit in Hundertsteln für den Zeitraum von 1887 bis 1910" ergeben, die von Diekermann in seiner Abhandlung über „Die Windverhältnisse an der vorpommerschen Küste" zusammengestellt worden ist:

Ort	N	NO	O	SO	S	SW	W	NW
Swinemünde . .	9,3	11,3	6,7	12,7	12.3	10,8	17,0	10,5
Wustrow . . .	6.1	12,0	7,0	12,8	1,07	15,5	19,3	9,9

—— Höchstwert - - - Geringstwert

Sie zeigt ein deutliches Überwiegen der Winde aus West. Auch die Geschwindigkeit und Stärke der Winde stimmt nach Diekermanns Feststellungen an dieser Küstenstrecke ziemlich überein. Ebenso hat er weiter gefunden, daß die häufigsten Stürme aus dem westlichen Quadranten, und zwar aus Westsüdwest bis Westnordwest kommen. Stürme aus dem Ostquadranten dagegen sind viel seltener, und dennoch entwickeln sich gerade aus nordöstlicher Richtung Sturmfluten in besonders gefahrdrohender Weise, wenn die hierzu nötigen Vorbedingungen gegeben sind (S. 699). Es kommt hinzu, daß die von NO-Winden erzeugten Wellen eine erheblich größere Streichlänge haben, als die vom Westen herkommenden und infolgedessen wirkungsvoller sein müssen. Die Küstenstrecke von der Swine bis Darßerort ist auch infolge ihrer den westlichen Winden abgekehrten Lage der unmittelbaren Einwirkung der westlichen Wellen völlig entzogen.

Zu dem gleichen Ergebnisse, daß an der vorpommerschen Küste im Jahresdurchschnitt unbedingt die westlichen Winde die häufigsten sind, gelangt auch Otto in seiner Schrift „Der Darß und Zingst", in der er eingehend die Windverhältnisse im Gebiete des Darß untersucht hat.

Ein weiter sehr treffender Beweis für die ausgesprochene Vorherrschaft der westlichen Winde im ganzen deutschen Ostseegebiete geht aus dem Vergleiche der Mittelwasserstände längs der Küste hervor. Er zeigt deutlich, daß der Spiegel der Ostsee von Westen nach Osten hin auffällig ansteigt. Die Unterschiede zwischen den westlichen und östlichen Punkten sind sogar verhältnismäßig groß. In Kiel liegt das Mittelwasser auf — 0,216 NN und in Memel auf + 0,063 NN. also rund 28 cm höher. Im besonderen ergibt sich folgende Höhenlage (Text-Abb. 20) der nach Osten ansteigenden schiefen Ebene des Wasserspiegels an den einzelnen Stellen der Küste:

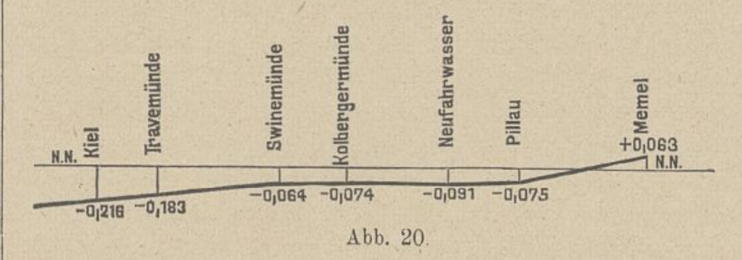


Abb. 20.

Diese Erscheinung ist ohne Zweifel nur auf den dauernden Einfluß der westlichen Winde zurückzuführen, die das Wasser der Ostsee in einem ständigen entsprechenden Aufstau halten. Bei anhaltenden östlichen Winden verringert sich der Unterschied der Wasserstände naturgemäß.

16. Küstenströmung in der Ostsee. Die im Ostseegebiet hiernach tatsächlich vorherrschenden westlichen Winde müssen ohne Zweifel ganz naturgemäß nach Osten hin gerichtete Triftströme erzeugen, die, je näher sie der Küste kommen, deren Richtung folgen werden. Dann aber machen

sich für diese küstennahen Oberflächenströmungen auch die von Witting beobachteten Einflüsse der Küste geltend. Einerseits treibt sie die ablenkende Kraft der Erdumdrehung aus der Windrichtung mehr an das Ufer heran, anderseits begünstigt die naheliegende Küste selbst ihre allgemeine Bewegung. Es entsteht eine nach Osten setzende Trift- und Stauströmung, deren Geschwindigkeit, abgesehen von der Abhängigkeit von der Windstärke, bei der Annäherung an die Küste infolge der abnehmenden Wassertiefe zunimmt und dabei mehr und mehr umgestaltende Wirkung auf den Meeresboden vor dem Strande entwickelt. Hierbei kommt ihr in ihrer Bewegung nach Osten die auf S. 708 genannte warme Oberflächenströmung kräftig zu Hilfe, die als Ausgleich für den kalten Unterstrom aus dem Bottnischen Meerbusen gleichfalls längs des Ufers in östlicher und später in nördlicher Richtung zu streichen das Bestreben hat. Das Zusammenwirken beider Naturerscheinungen bringt mithin eine ständige Küstenströmung zustande, die bei der unbedingten Häufigkeit der westlichen Winde ostwärts geht.

Wenn zeitweise im ganzen Küstengebiete heftige Winde aus der entgegengesetzten Richtung, aus Osten, auftreten, wird der östlich gerichtete Küstenstrom gestaut und an seinem Weiterfließen gehindert. Halten diese Winde längere Zeit an, so kentert er und fließt nach Westen zurück. Dann ist während dieser Zeit eine westliche Küstenströmung vorhanden.

Die Geschwindigkeit dieser Küstenströme ist wegen ihrer Abhängigkeit von den Winden und deren Richtung sehr verschieden. Während der westlich gerichtete im allgemeinen nur geringe Geschwindigkeit erreicht, entwickelt dagegen der östliche zeitweilig recht hohe. Sie wird dann am größten, wenn westliche Stürme gerade gleichlaufend mit der Küstenlinie wehen.

Über die Höchstwerte der Geschwindigkeit, die der Küstenstrom besonders vor den Hafeneinfahrten annimmt, sind im Segelhandbuch für die Ostsee nähere Angaben vorhanden, die zum Teil auf örtlichen Messungen beruhen. Danach beträgt die Geschwindigkeit des Küstenstromes vor Stolpmünde, Neufahrwasser und Memel bis 2 Sm. in der Stunde, vor Warnemünde, Kolbergermünde und Rügenwaldermünde sogar bis 3 Sm. Am stärksten ist der Küstenstrom der Ostsee bei Stürmen aus SSW über W bis NNW vor den Molen von Pillau, wo er nach N gerichtet ist. Er vereinigt sich hier allerdings noch mit dem aus dem Pillauer Seetief kommenden Haffstrom und setzt quer über das Seegatt, wobei er eine Stärke von 4 Sm. erreichen kann. Bei dieser Gelegenheit steht dann sehr hoher Seegang vor der Einfahrt. Auch ist im Seegatt über der Barre eine sehr starke Brandung vorhanden, so daß ein Einlaufen von Schiffen unmöglich ist. Für solche Fälle wird den Führern von Schiffen geraten, unter Hela Schutz zu suchen oder rechtzeitig beizudrehen und See zu halten.

17. Küstenversetzung in der Ostsee. Diese immerwährende Bewegung des Ostseewassers in der Form solcher Ufer- und Küstenströme muß selbstverständlich die vorhandenen losen Massen auf dem Boden der Flachsee, wie sie gerade an der ganzen deutschen Küste und weiter östlich im Gebiete der russischen Ostseeprovinzen ausgebildet ist, aufwühlen und mit sich fortnehmen. Zur Ausübung besonderer unmittelbarer abnagender Tätigkeit auf die Sohle vor dem Strande ist jedoch der Küstenstrom zumeist allein zu schwach. Seine umgestaltende Wirksamkeit beruht im wesentlichen nur auf seiner Fähigkeit, die im Brandungsgürtel lagernden beweglichen Sandmassen längs der Küste zu befördern. Hierzu ist einmal naturgemäß die Geschwindigkeit des bewegten Wassers maßgebend, anderseits müssen auch genügende Sandmassen zur Weiterbeförderung geliefert werden. Das geschieht in reichlichem Masse durch die Brandungswellen, die den Grund aufrühren und damit die Sandteilchen in Bewegung bringen.

Wie bereits auf S. 694 allgemein gesagt, verursacht schon mäßiger Wellenschlag eine Umgestaltung der oberflächlichen Bodenbeschaffenheit im Brandungsgürtel und zugleich eine leichte Wanderung der Sinkstoffe an dem Strande entlang.

Im baltischen Gebiete ist die Richtung, in welcher die Wellen der Hauptwindrichtung aus dem Westen auf die deutsche Küste auftreffen, für eine seitliche Verschiebung der aufgewühlten Sandmassen des Strandes ganz besonders günstig. Da sich das ganze südliche Ufer der Ostsee vornehmlich von Westen nach Osten erstreckt, laufen daher hier die Wellen nicht senkrecht, sondern verhältnismäßig schräg auf die Küste auf und werfen dabei den von ihnen in Bewegung gesetzten Sand etwa von NW nach SO auf die flach ansteigende Strandböschung. Von hier rollt er dann, soweit schon ein Strandwall mit hinreichender Böschung vorhanden ist, und falls der Wind den Sand nicht etwa weiter landeinwärts treibt, in senkrechter Richtung zur Küste, d. h. also etwa nach Norden, wieder in die See hinab. So entsteht eine Art Zickzackbewegung der Sinkstoffe am Strande, genauer wohl mehr eine Bewegung auf parabelähnlichen Bahnen, und damit eine langsame, aber ständige Verschiebung der aufgewühlten Sandmassen der Flachsee und des Strandes längs des Ufers nach Osten hin (Text-Abb. 21). Da sich diese Bewegung nur allein im Bereiche der Brandungswellen abspielt, hat sie auch nicht viel mit einer wirklichen Strömung zu tun und ist deshalb von der vorgenannten Küstenströmung wohl zu unterscheiden. Sie wird, ihrer Wirkung auf das Ufer entsprechend, allgemein mit Küstenversetzung oder auch Strandvertriftung bezeichnet. Sowohl die Breite, in der diese Tätigkeit stattfindet, als auch deren Lebhaftigkeit hängt von der Stärke des Windes und der von ihm erzeugten Wellen ab. Je höher und größer die Wellen sind, die der Wind gegen das Ufer treibt, desto breiter ist ihr allgemeiner Wirkungsbereich. Dementsprechend wird dann auch mehr Sand auf dem Boden vor dem Strande in Bewegung gesetzt und seitlich verschoben. Auf die Geschwindigkeit, mit der solches geschieht, hat der Winkel Einfluß, unter dem die Wellen auf das Ufer auflaufen. Sie wird um so lebhafter, unter je spitzerem Winkel der Wind auf die Küste steht.

18. Sandwanderung in der Ostsee. Die so von den Wellen der Hauptwindrichtung hervorgerufene, nach Osten gerichtete strandversetzende Brandung wird in ihrer Bewegung durch die in gleicher Richtung vorherrschende Küstenströmung, deren Entstehen allein auf die Einwirkung des Windes zurückzuführen ist, mächtig unterstützt und gefördert. Das Zusammenwirken dieser beiden Naturkräfte verschiebt so mit einer von der Windstärke und Richtung abhängigen Geschwindigkeit und in gewisser Stetigkeit große Sandmassen nach Osten hin. Beide Erscheinungen sind mit-

Abb. 21. Sandwanderung in der Ostsee.

hin an der Umlagerung der Küste gemeinsam beteiligt und ergänzen sich in ihren Wirkungen. Je stärker die Wellen den Meeresboden aufrühren, desto größere Mengen Sand werden von der Strömung weiter hinweggeführt.

Bei der Vorherrschaft der westlichen Winde kann deshalb an der deutschen Ostseeküste und weiter bis Libau hinauf als Ergebnis der Dauerwirkung dieser vorherrschenden Winde tatsächlich von einer nahezu dauernden östlich gerichteten Sandwanderung gesprochen werden. Wenn östliche Winde längere Zeit wirken, kentert die Sandwanderung naturgemäß und ist dann wie der Küstenstrom nach Westen gerichtet. Indes entwickelt sie sich dabei erfahrungsgemäß nie sehr kräftig und ist infolgedessen nicht imstande, auch nur annähernd so viel Sand wieder zurückzuverfrachten, wie sie nach Osten befördert hat. Deshalb ist auch die Versandungsgefahr von Osten her weniger gefährlich und in der Wirkung geringer.

Im östlichen Teil der Ostsee erfährt diese ostwärts gehende Sandwanderung, soweit lediglich der Einfluß der Wellen Anteil hat, dort ein gewisses Ende, wo in der Memeler Gegend und an der Kurländischen Küste die Richtung der Uferlinie endgültig eine süd-nördliche geworden ist. Hier steht die vorherrschende Wellenbewegung gerade senkrecht zur Küste. Der Sand wird daher durch diese jetzt nicht mehr schräg, sondern gleichfalls senkrecht von der See aufgeworfen und kann auch nur in derselben Richtung zurückrollen. Eine bemerkenswerte seitliche Verschiebung des Strandsandes infolge des Wellenschlages tritt deshalb hier nicht mehr ein (Text-Abb. 21).

Durch den Richtungswechsel der Küste läßt sich auch die nördlich des Memeler Tiefs bis Nimmersatt und weiter nach Kurland hin vorhandene auffällig starke Sandanhäufung am Seestrande einigermaßen erklären. Hier bildet den Strand eine ganz außerordentlich breite Sandfläche. Sie hat ohne Zweifel nur dadurch entstehen können, daß die beständig nach Ost gerichtete Wanderung des Strandsandes durch irgendein Hindernis aufgehalten und allmählich zu einem gewissen Stillstand gekommen ist. Dabei hat dann naturgemäß eine starke Ablagerung der Wandersände an dieser Küstenstrecke stattgefunden, die sich gewissermaßen als Folge von Rückstauung bereits weiter südlich davon zeigt. Ein solches Hindernis bildet aber die Umbiegung der Küste aus der östlichen in einen genau von Süd nach Nord gerichteten, also der vorherrschenden Wind- und Wellenrichtung gerade entgegenstehenden Verlauf. Unbedingt ist sie als die Ursache anzusehen, die hier diesen günstigen Einfluß auf die Strandbildung ausgeübt hat. Sogar bis zur Küste der Kurischen Nehrung hin macht sich diese Erscheinung bemerkbar. Auch hier weisen die Sandanhäufungen recht erhebliche Ausdehnung und Umfang auf. Ebenso haben ganz offenbar an der teilweisen Ausbildung des sandigen Strandes der Frischen Nehrung Einflüsse derselben Art mitgewirkt. Die anschließende rund 35 km lange Küstenstrecke des Samlandes von Pillau bis zur Brüsterorter Ecke biegt gleichfalls in südnördliche Richtung ein und hält dadurch die ostwärts gehende Sandwanderung auf.

Anderseits sind an dieser starken Sandanhäufung auch die östlichen Flüsse von der Weichsel ab nicht unwesentlich beteiligt. Gerade sie führen entgegen den weiter westlich in die Ostsee einmündenden ganz besonders große Mengen von Sinkstoffen der See und der Küstenströmung zu.

Immerhin ist trotzdem auch an diesen südnördlich gerichteten Küstenstrecken eine leichte Wanderung des Sandes,

wenngleich in erheblich geringerem Maße, vorhanden. Sie ist aber lediglich auf den Einfluß des durch den Wind erzeugten Küstenstromes zurückzuführen, der hier vorbeistreicht, und der gewissermaßen als Seitenkraft der sich an den Küstenstrecken mit genau westöstlichem Verlaufe in voller Kraft entfaltenden Bewegung anzusehen ist. Soweit hier von den durch Wellenschlag aufgewühlten Sand- und Kieskörnchen des Strandes Teile bis hinab in den Wirkungsbereich der Küstenströmung geraten, werden sie von ihr erfaßt und mit fortgeführt. Hiervon werden aber nur verhältnismäßig geringere Mengen betroffen, da die von den Wellen unmittelbar verursachte Küstenversetzung so gut wie fehlt. Deshalb ist auch an diesen südnördlich gerichteten Küstenstrecken weit weniger Sand in Wanderung begriffen.

Von Libau an nordwärts ändern sich diese Verhältnisse aber bald wieder (Text-Abb. 21). Hier verläßt einmal die Küste allmählich die südnördliche Richtung und nimmt ihren Verlauf nach NO. Anderseits kommen außerdem die Winde an diesem Küstenstrich vorherrschend aus SW, bilden mithin ebenso einen Winkel zum Ufer, wie die vorherrschenden westlichen Winde an der pommerschen und westpreußischen Küste. Beide Umstände befördern natürlich die Sandwanderung wieder ganz wesentlich. Sie ist auch tatsächlich von hier ab gerade hinsichtlich der Menge der bewegten Sinkstoffe besonders stark und viel reichlicher, als an der deutschen Küste, weil der Strand hierzu bei seiner oben erwähnten außerordentlich breiten Ausdehnung genügend Sand zu liefern imstande ist.

Daß unbedingt eine dauernde Sandwanderung in der allgemeinen Richtung nach Osten hin herrschen muß, ergibt sich schon aus der einfachen Frage, wo sonst alle die gewaltigen Erdmassen des Festlandes, die die See alljährlich verschlingt, bleiben sollten. Nur so erklärt sich die Gleichmäßigkeit der Strandbildung an der ganzen Küste, sowie auch die höchst auffällige Erscheinung, daß an den Strecken, die keine sandigen Ufer haben, ebenfalls Strand vorhanden ist.

Gerade an der westlichen Küste des Samlandes, die ganz besonders den Zerstörungen durch die See ständig ausgesetzt ist, wird völlig klar, daß die hier dem Lande verloren gehenden Massen nicht etwa an derselben Stelle liegen bleiben, wo sie in die See hineinstürzen, sondern daß sie vielmehr von der See selbst auch weiter fortgeschafft werden. Andernfalls müßten die Ufer mit der Zeit vollständig versandet sein. Auch zeigen die bezüglichen Peilungen deutlich, daß die von der See aufgenommenen Erdmassen nirgends eine erhebliche Veränderung des nach dem Strande hin ansteigenden Meeresbodens verursacht haben.

Wie groß die Bodenmenge ist, die die gesamte Küste des Samlandes bisher der See alljährlich hat opfern müssen, läßt sich aus den Feststellungen Brückmanns einigermaßen berechnen. Die Küstenstrecke, an der die der Zerstörung besonders ausgesetzten, hohen Ufer vorhanden sind, etwa von Tenkitten über Brüsterort bis nach Cranz hin, beträgt rund 70 km. Die mittlere Höhe des Steilufers kann zu rund 30 m angenommen werden. Da im Durchschnitt eines Jahres der Abbruch der ganzen Steilküste im Mittel zu $^1/_2$ m Breite anzunehmen ist, ergibt sich mithin hieraus ein gesamter Landverlust von über 1 Million Kubikmeter Boden, der alljährlich vom Küstenstrome fortgeführt wird. Diese Verlustziffer zeigt, wie außerordentlich der Sinkstoffreichtum des Küstenstromes hier an der samländischen Küste ist. Er wird aber sogar noch künstlich dadurch vermehrt, daß Menschenhände selbst durch die seit Jahren betriebene Bernsteingräberei an der Zerstörung der Küste schuldigen Anteil haben. Insbesondere wird seit Jahren bei den Bernsteinwerken in Palmnicken die beim Tagebau gewonnene Abraummasse in die See und damit in den Küstenstrom geworfen. Im Mittel beträgt die Menge der derart ausgeworfenen blauen Erde im Jahre ebenfalls rd. eine Million Kubikmeter.

Diese gewaltigen, an der westlichen Samlandküste entlang geschobenen Sinkstoffmassen, die zwar zum Teil unterwegs liegen bleiben und dann Sandbänke bilden, gelangen in ihrer nach Norden gerichteten Vorwärtsbewegung bei Brüsterort nicht etwa in die großen Tiefen der See. Sie wenden sich hier vielmehr unter der Einwirkung des um die Brüsterorter Ecke herumlaufenden Küstenstromes gleichfalls nach Osten und werden so weiter längs der Nordküste an Neukuhren vorbei bis Cranz und Memel hin verfrachtet. Daß die Sandmassen tatsächlich die Wanderung um Brüsterort herum mitmachen, geht aus den Peilungen an dieser Stelle hervor. Sie lassen erkennen, daß, ebenso wie die Haken an allen sonstigen Uferstrecken, auch die hier vorhandene Sandbank mit der Richtung des Stromes wächst, und daß ihre Spitze sich deutlich nach Osten hinwendet.

Diese Anhäufung von Sandmassen an der Brüsterorter Ecke ist zeitweilig recht stark und wird durch ein Steinriff noch besonders begünstigt, das sich in nahezu nördlicher Richtung von der Ecke des auf S. 689 beschriebenen Steinwalles auf 4 km Länge in die See hinaus erstreckt. Auf diesem Riff hat sich eine Sandbank ausgebildet, die etwa 700 m lang und i. M. 300 bis 400 m breit und nur von der 2 m-Tiefenlinie eingeschlossen ist. Ihre Entstehung beruht auf der gegenseitigen Einwirkung zusammentreffender Wellen. Da sowohl am nördlichen, als auch am westlichen Strande die Wellen dem Ufer zurollen, findet an der Ecke des Steinwalles ein doppeltes Wellenspiel und dann ein Zusammenstoß der Wellen statt, wobei die mitgeführten Sandmassen sich niederschlagen. Der Umfang dieser Ablagerungen ist vom Hafenbauamt in Pillau verschiedentlich beobachtet und so die Masse des Sandes festgestellt worden. Es ergab sich hierbei, daß der Sand zeitweilig in einer Höhe von etwa 0,5 m aufgeschüttet und wieder abgetragen wird, was einer Masse von 1500 bis 2000 cbm entspricht. Diese Bank bleibt aber nicht etwa unveränderlich fest, sondern sie nimmt mit den östlichen Winden an Höhe zu, mit den westlichen Winden dagegen ab. Wenn die letztere Windrichtung länger anhält, verschwindet sie zeitweilig zuletzt sogar gänzlich. Der Ostwind verursacht mithin eine Rückstauung der Wassermassen und damit eine Verschiebung der Sandmengen wieder zurück nach Westen. Die Westwinde schaffen jedoch die Sandmengen heran und treiben sie auch über die Bank hinaus. Sie sind zudem hier bei Brüsterort nicht nur häufiger, sondern die von ihnen hervorgerufenen Wellen sind auch stärker, weil sie über größere Tiefen hinweggehen. Sie bringen daher auch desto größere Sandmengen herbei.

19. Sandwanderung in der Nordsee. Auch in der Nordsee ist nachgewiesenermaßen die Hauptwind- und dementsprechend die Hauptwellenrichtung durchweg die westliche. Vor allem sind die Winde aus NW die wirksamsten.

Es findet daher an der Südküste bei ihrem allgemeinen Verlaufe von W nach O ebenfalls eine allgemeine Wanderung des Wassers, eine Küstenströmung, sowie eine starke Bewegung der von den Wellen aufgewühlten Sandmassen des Strandes die Küste entlang in östlicher Richtung statt. Die Sandwanderung geht dann weiter durch die Elbe hindurch und längs der schleswig-holsteinischen Küste nach Norden bis etwa zur Höhe der Norderpiep. Hier trifft sie auf die an der Ostküste vorhandene Sandtriftströmung, die unter der Wirkung der für ihre Entstehung maßgebenden nordwestlichen Winde nach Süden gerichtet ist.

In umgekehrter Richtung von O nach W ist die auf dem Wellenschlage beruhende Sandwanderung an der Südküste unbedeutender. Die von Osten her ankommenden Wellen müssen über flacheres Wasser laufen und können sich deshalb nicht so entwickeln, wie die aus der freien Nordsee. Sie sind mithin kleiner und schwächer und üben dadurch auf die Wanderung des Sandes in ihrer Richtung auch eine weit geringere Wirkung aus.

Die östlich gerichtete Küstenströmung und Sandwanderung wird aber noch in erheblichem Maße durch den täglich zweimal sechs Stunden auftretenden Flutstrom unterstützt und verstärkt. Dieser setzt aus Westen herkommend von See aus schräg auf die Küste zu und wird von ihr beim Aufstoßen auf den Strand so abgelenkt, daß er gleichgerichtet zu ihm laufen muß. Dazu kommt noch der Einfluß der Erdumdrehung, die bereits an sich den Strom nach rechts abzulenken bemüht ist, ihn also unmittelbar gegen das Ufer drängt und seine Bewegung an diesem entlang begünstigt. Die dabei ausgelöste Kraft macht sich naturgemäß an dem entsprechenden Angriff auf das ganze südliche Ufer der Nordsee, sowie auf den Bodenbelag des Brandungsgürtels bemerkbar. In dieser Beziehung muß auch der Flutstrom wesentlich größere Überlegenheit zeigen, als der Ebbestrom, den die ablenkenden Kräfte der Erdumdrehung mehr von der Küste abzuhalten suchen. Die mithin bei Flut entstehende Strömung längs der Küste nach Osten hin ist auch wesentlich stärker, als der entgegengesetzt laufende Ebbestrom. Gleichzeitig mit ihr findet auch eine Wanderung des von ihr herangeführten und auch neu erhaltenen Sandes in der gleichen Richtung statt.

Dadurch ist allmählich die deutsche Nordseeküste eine stark ausgeprägte Sandwanderungsküste geworden. Das zeigt sich deutlich an der Kette der ostfriesischen Düneninseln, die bis zur Inangriffnahme des planmäßigen Strandschutzes in ständiger Wanderung von Westen nach Osten begriffen waren. Die Inseln brachen im Westen ab und wuchsen im Osten wieder an. Jetzt ist die Inselkette durch die umfangreichen Strandbefestigungen im großen und ganzen festgelegt, so daß ihre Wanderung im wesentlichen aufgehört hat (Zeitschr. f. Bauwesen 1895, S. 387 und 1896, S. 259).

20. Beweglicher Küstensaum. So ist das Festland in der Tat mit einem beweglichen Gürtel gröberer und feinerer Sinkstoffe umsäumt, und man spricht mit Recht von einem „beweglichen Küstensaume", der hauptsächlich an den Flachküsten vorhanden ist, da an ihnen der sandige Strand vorherrscht. — Nach den vorliegenden Betrachtungen ist diese Erscheinung in besonders deutlichem Maße gerade an der südlichen Küste der Ostsee ausgeprägt.

21. Gesamtwirkung aller Naturkräfte. Alle diese Kräfte zusammen, der Wellenschlag, die Strömungen und die Winde, bringen die Sinkstoffe ins Wandern. So schreitet der Sand allmählich die Küste entlang, füllt hierbei alle vorhandenen Unregelmäßigkeiten aus und bildet den Strand der Flachküsten meist in schlanken, der Richtung des Seeganges und den herrschenden Strömungen entsprechenden Krümmungen, teils auch nahezu geradlinig aus.

Die gleichmäßig glatte Gestaltung der Ostseeküste und der Aufbau der Nehrungen ist in der Hauptsache auf die Einwirkung dieser sandverfrachtenden Küstenströmung zurückzuführen. Die Ablagerungsstellen für die in Bewegung gekommenen Bodenmassen sind hier die zwischen den Hochufern gelegenen Niederungsbuchten, die allmählich immer mehr gegen die See ausgewachsen sind und so auf den Ausgleich der Küstenlinie und die Herabminderung des Angriffs hingewirkt haben.

22. Gleichgewichtszustand der Küste und Maßnahmen zu seiner Erhaltung. „Solange diese Arbeiten der Naturkräfte in üblichen Größen bleiben, kann sich an einer Küstenstreke für diese Zeit ein gewisser innerhalb bestimmter Grenzen schwankender Gleichgewichtszustand zwischen Abspülungen und Ablagerungen einstellen. Dann erscheint die Grenze zwischen Festland und See beständig, nachdem die Uferlinie an einer Stelle landwärts zurückgewichen, an einer anderen seewärts hinausgewachsen ist. Für gewöhnlich schwankt ohne künstliche Befestigung des Flachufers diese Grenze gewissermaßen hin und her. Bei den am offenen Meere liegenden Flachküsten ist erfahrungsgemäß der Abbruch bei weitem stärker, als die Ablagerung. Solche Küsten weichen deshalb, solange sie im Naturzustande sind, langsam, aber stetig und nicht selten in bedenklicher Weise zurück.

Die Küstenversetzung im Verein mit dem Küstenstrome verfrachtet die im Brandungsgürtel in ständiger Bewegung gehaltenen losen Massen von Stellen, an denen die Einwirkung der Naturkräfte stark auftritt, bis zu solchen Küstenstrecken, die wegen ihrer Richtung zu den maßgebenden Bewegungskräften die Weiterbeförderung der Wandersände hemmen. Da die Geschwindigkeit und Stärke der Strandvertriftung und damit zugleich auch ihre Verfrachtungsfähigkeit naturgemäß mit der Stärke des Windes und der abnehmenden Größe seines Einfallwinkels zur Küste wächst, ist mithin die Richtung der Uferlinie zu den wirksamsten Winden ausschlaggebend für die Veränderung, die eine Flachküstenstrecke erleidet. Die mehr oder weniger große Wirksamkeit der Strandvertriftung an einer Küste ist die unmittelbare Ursache für den Abbruch oder die Anlandung an ihr oder für einen gewissen Gleichgewichtszustand zwischen beiden Erscheinungen.

Wenn an einer Küste der Landverlust oder auch der Landgewinn unerträglich wird, muß der Mensch durch entsprechende Schutzmaßnahmen in den natürlichen Gang der Küstenentwicklung eingreifen und versuchen einen Zustand des Gleichgewichts herzustellen. Hierzu ist aber von vornherein unbedingt nötig, die eigentliche Ursache, die schädliche Küstenversetzung, möglichst völlig unwirksam zu machen, sie mithin aufzuhalten.

Jeder natürlich oder künstlich geschaffene feste Punkt an der Küste, der aus der Uferlinie heraustritt, hemmt die

Bewegung der Sinkstoffe und bringt diese zur Ablagerung. Deshalb haben sich erfahrungsgemäß Seebuhnen zum Aufhalten der Wandersände ganz besonders bewährt. Sie sind an der Ostseeküste fast durchweg senkrecht zur Uferlinie angeordnet und können durch diese Lage auch ihre Aufgabe am besten erfüllen, weil die Sandwanderung nicht ständig in einer Richtung, sondern auch zuweilen in der entgegengesetzten stattfindet. Die Ablagerung der Sinkstoffe und ihre zunehmende Ansammlung zwischen den Buhnen bewirkt hier sowohl die Festlegung, als auch zugleich eine allmähliche Verbreiterung des unter Wasser liegenden Strandes. Da die in den Buhnenfeldern vor sich gehende Sandanhägerung nach und nach auch über den Wasserspiegel hinaus wächst, ist mit dieser Aufhöhung des nassen Strandes auch eine allmähliche Vergrößerung seines trockenen Teiles verbunden. Hier trocknet der Seewind den von den Wellen oberhalb ihres Bereiches ständig aufgeworfenen Sand leicht aus. Landwärts gehende Winde nehmen ihn dann als Flugsand mit. Er lagert sich jeweils dort ab, wo die Kraft des Windes durch irgendwelche Gegenstände gemildert oder gebrochen wird, und häuft sich mit der Zeit bei ungestörter Zunahme zu einem mit dem Ufer gleichlaufenden Sandwall an, der in natürlicher, flacher Böschung zur See hin abfällt.

Je breiter der Vorstrand wird, desto mehr Sand ist für den Sandflug vorhanden und desto schneller entsteht hinter dem Strande durch diese natürliche Aufhöhung eine regelrechte Vordüne, deren weitere gleichmäßige Ausbildung und Erhaltung mit Erfolg durch künstliche sandfangende Zäune geschieht. Deren zweck- und sachgemäße Anlage muß die Natur in ihrem Bestreben zum Aufbau des Dünenkörpers entsprechend unterstützen. Nahezu allein die Natur leistet die Herstellung der Dünen, der Mensch braucht deshalb nur mit einfachen, aber zweckmäßigen Mitteln regelnd einzugreifen. Daher ist eine gut gepflegte, genügend hohe und breite Düne, die sich an einem flachen bis über das höchste Hochwasser hinausragenden Strand anschließt, der natürlichste und beste, zugleich auch der billigste Küstenschutz. Sie wird selbst den höchsten Wasserständen widerstehen können.

Eine zweck- und planmäßige Unterhaltung der Vordüne ist aber nur dort möglich, wo sich Sand ablagert, und wo der Strand genügend Sand zum Aufbau der Düne zu liefern vermag. Deshalb eignen sich besonders zur Heranziehung von Dünen flache Küstenstrecken mit genügend breitem Strande, dessen Erhaltung durch die sachgemäße Anlage gut wirkender Buhnen gesichert wird, und an dem dadurch der nötige trockene Sand dauernd vorhanden ist. Vor hohen Steilufern ist die Dünenbildung unmöglich. Hier kann sich naturgemäß nur ein schmaler Strand ausbilden, weil der Wind durch seine fortwährende Wirbelwirkung den Sand nicht zur Ruhe kommen läßt. Außerdem fehlt dem Sandfluge neben genügendem Stoffe vor allem die freie Fläche landeinwärts, die er zu einer wirksamen Entfaltung unbedingt gebraucht. Wenn an solchen Uferstrecken Stellen von besonderer Wichtigkeit und von größerem Werte vor Abbruch geschützt werden sollen, kommen deshalb nur künstliche Schutzbauten in Form zum Ufer gleichlaufender Werke in Frage, wie das Beispiel der Anlagen am Streckelsberge (S. 684) zeigt. Aber auch in solchen Fällen muß der vorliegende Strand, namentlich wenn er sandig ist, unbedingt grundsätzlich durch Buhnen festgelegt sein. Uferdeckwerke ohne Verbindung mit Buhnen bewähren sich erfahrungsgemäß nicht, sie werden meist durch den Angriff des Meeres zerstört.

Das gleiche Schicksal pflegt zuweilen auch die sandigen Flachküsten zu treffen, deren Schutz nur aus einem Dünengürtel besteht, und die nicht außerdem noch durch Buhnen gedeckt sind, sobald die den Angriff auf die Küste ausübenden Naturkräfte ganz besonders starke Wirkung entwickeln. Dafür bietet die Küste der Frischen Nehrung, namentlich die ostpreußische Strecke, ein gutes Beispiel. Sie ist infolge ihrer gegen die herrschenden Winde offenen Lage, sowie wegen ihrer geringen Strandbreite und der dadurch bedingten geringeren Widerstandsfähigkeit ständig stark dem Abbruch ausgesetzt. Besonders hat die sich unmittelbar an die Südermole von Pillau anschließende Dünenstrecke bei den von Westen bis Norden auftretenden schweren Stürmen arg unter Zerstörung zu leiden. Allerdings macht sich bei dieser Erscheinung auch der Einfluß der nahen Lage der Mole sehr ungünstig geltend, die bereits im Laufe ihres Entstehens recht verschiedene Wirkung auf den Sandstrand der Frischen Nehrung ausgeübt hat. Sie mußte immer wieder allmählich streckenweise bis zur jetzigen Länge vorgeschoben werden, weil sie ständig ein schnelles und starkes Vorschreiten des Strandes verursachte. Erst nach ihrem Vorstrecken bis zu ihrer jetzigen Länge trat gerade das Gegenteil ein, indem nunmehr ein Abbruch des Strandes begann. Über die hierbei mitwirkende Ursache wird weiter unten noch die Rede sein. Die ständige Beseitigung der Sturmschäden, die bereits in den Jahren 1906/07 besonders schwere waren, hat zeitweise hohe Kosten verursacht. Der Schutz dieser Strecke der Düne erfordert deshalb auch weiterhin im allgemeinen recht große laufende Ausgaben.

Auch durch die schwere Sturmflut um die Wende des Jahres 1913 hatte sie wiederum gewaltig gelitten. Auf rd. 2 km Länge von der Molenwurzel ab war sie etwa durchschnittlich 20 m breit abgebrochen, so daß stellenweise überhaupt kein Dünenkörper mehr stehen blieb. Dabei hatte sich auch hier, ebenso wie an der pommerschen Küste, fast überall ein sehr guter, breiter Vorstrand ausgebildet, der aber nicht lange anhielt.

Um den weiteren Abbruch der Düne und den damit verbundenen ständigon Verlust an Land wirksam zu verhindern, mußten künstliche Schutzmaßnahmen zu Hilfe genommen werden. Sie erstreckten sich darauf, den Fuß der seeseitigen Dünenböschung besonders zu sichern.

III. Anlage von Häfen an der freien Sandküste.

1. Hemmung der Wandersände. Im allgemeinen nimmt der bewegliche Saum an den sandigen Flachküsten einen schlanken und gleichmäßigen Verlauf an, auch wenn die Ufer zerrissen sind, und ihnen Inseln vorlagern. Dennoch sind auch vor sonst glatten Küsten mitunter gewisse Unregelmäßigkeiten in den Tiefenlinien zu beobachten. Sie lassen darauf schließen, daß hier Ablagerungen stattgefunden haben, die nur durch eine Unterbrechung oder eine Ablenkung der sandführenden Küstenströmung entstanden sein können.

Jeder natürliche oder künstliche Ufervorsprung ruft solche Erscheinungen hervor, da er eine teilweise Ablenkung der Strömung veranlaßt. Er engt gewissermaßen das Bett des

Küstenstromes ein, wodurch die dicht neben der Küste strömenden Wasserfäden teils aufgehoben, zum Teil nach der Spitze des Vorsprungs hin abgelenkt werden. Es entsteht dann hier eine Zusammendrängung der Stromfäden und damit eine verhältnismäßig erhebliche Stromverstärkung. Erst nach Vorbeigleiten an dem Hindernisse kann die Strömung wieder ihr früheres breites Bett einnehmen oder auch sich in einer anschließenden Bucht je nach deren Gestaltung in Ruhe ausbreiten. Solche Strömungsvorgänge üben natürlich einen gewissen Einfluß auf die Veränderung und Gestaltung der Küsten aus. Die Kenntnis hiervon wird daher von besonderer Bedeutung, wenn es sich um die Anlage eines Hafens an einer derartigen beweglichen und infolgedessen dafür höchst ungeeigneten Küstenstrecke handelt. Für die Anordnung der erforderlichen Hafenaußenwerke entsteht dann die wichtige Frage, welche Lage zur Küste sie einnehmen müssen, wenn sie unter sachgemäßer Bekämpfung und Ausnutzung der auftretenden Naturkräfte, sowie unter gleichzeitiger stetiger Rücksichtnahme auf die Bedingungen der Schiffahrt, ihrer Zweckbestimmung, die Versandung des Hafens in Hinblick auf seine ständige Zugänglichkeit und Offenhaltung möglichst zu verhindern, erfolgreich genügen sollen.

2. Einfluß von Ufervorsprüngen auf die Sandwanderung. Außer einer Verzögerung und Ablenkung der Küstenströmung bewirkt jeder Ufervorsprung, also auch jeder künstliche Einbau vor dem Strande, in erster Linie ein Aufhalten der Bewegung der Wandersände. Bei der Trägheit ihrer gewaltigen Wassermassen kann die sandführende Küstenströmung die Einbauten nicht in so kurzer Linie umgehen, wie das einem Flusse möglich ist. Es kann daher nur eine langsame und allmähliche aus der allgemeinen Strömungsrichtung nach dem Kopfe des Ufervorsprungs sich zuwendende Ablenkung stattfinden. Die damit verbundene Geschwindigkeitsabnahme verursacht aber dann, je nach Länge des Einbaues, und soweit dessen Schutz reicht, in dem von dem Strand und dem Werk gebildeten Winkel Ablagerungen, die allmählich auch ein Verschieben der Tiefenlinie nach See zu zur Folge haben. Der Umfang dieser Erscheinungen hängt von örtlichen Verhältnissen ab, insofern, als die Stärke und der Sandreichtum der Küstenströmung, die Richtung und Schwere der herrschenden Winde und der stärksten Stürme, sowie die Größe der Wellen und die sie beeinflussende Neigung des Strandes sehr verschieden ist.

Gleichzeitig ruft dieses Ablenken und Aufhalten der Wandersände durch das sich ihrer Bewegung entgegensetzende Hindernis auch eine sehr merkliche Störung des Gleichgewichtszustandes hervor, der sich bei Ausbildung der Uferlinie durch die Einwirkung des beweglichen Küstensaumes unter den gewöhnlichen Verhältnissen eingestellt hat. Die zu seiner Erhaltung nötige Sandzufuhr wird zum Teil unterbrochen, zum Teil sogar ganz aufgehoben. Infolgedessen muß auf der Leeseite des Einbaues in gewisser Entfernung von ihm auf eine bestimmte Strecke hin Uferabbruch eintreten. Er beginnt etwa dort, wo die Küste nicht mehr unter dem durch den Einbau gebotenen Wellenschutze liegt. Von hier an können die Wellen wieder ungeschwächt auf den Strand auftreffen, ihn angreifen und die aufgewühlten Sandmassen fortführen. Damit setzt die durch den Einbau unterbrochene Strandvertriftung von neuem ein. Sie wird dann je nach dem Grade ihrer Wirksamkeit allmählich die Abnagungen zum Stillstand bringen und auch auf dieser Küstenseite schließlich wieder einen gewissen Zustand des Gleichgewichts herstellen, sobald die neu begonnene Umlagerung der Küste infolge der wieder ermöglichten Brandungstätigkeit genügende Sinkstoffmengen in Bewegung gesetzt hat. Jeder Abbruch an einer Stelle ist naturgemäß stets Ursache neuer Landbildung an anderer. Tritt indes das zur Erhaltung der Küste nötige Gleichgewicht nicht auf natürliche Weise ein, und schreitet der Abbruch sogar noch immer weiter, so muß zu besonderen künstlichen Schutzmaßnahmen an dieser Küstenstrecke geschritten werden.

3. Zweck und Wirkung künstlicher Einbauten vor dem Strande. Künstliche vom Strande in die See hineingebaute Werke können verschiedene Lage zur Uferrichtung einnehmen. Entweder sind sie senkrecht oder geneigt zum allgemeinen Verlaufe der Küstenlinie angeordnet, und ihre Neigung im letzteren Falle wiederum kann entweder gegen oder mit der Bewegungsrichtung des Küstensaumes gerichtet sein. Je nach dieser Lage ist auch der Zweck solcher künstlicher Einbauten ein verschiedener. Sie sollen einmal gefährliche Strömungen abhalten und die von diesen hervorgerufenen und zuweilen bis an das Ufer herantretenden großen Tiefen beseitigen oder sie wenigstens vom Ufer entfernen. Ein andermal sollen sie das weitere Vordringen der See oder das allmähliche Zurückweichen des Strandes verhindern, indem sie den Wellenschlag mäßigen und die vom Ufer abgebrochenen Sandmassen auffangen und ansammeln. Gerade die entgegengesetzte Absicht liegt aber dort vor, wo die Einbauten als Hafendämme oder Molen zum Schutze eines Hafens vorgesehen sind. Hier sollen sie die mit der Küstenströmung vorbeitreibenden Sände so ableiten, daß diese den Hafen nicht erreichen, oder daß etwaige Ablagerungen vor den Köpfen der Außenwerke möglichst die kleinste Ausdehnung annehmen und vor allem außerhalb des Fahrwassers zu liegen kommen.

Im allgemeinen haben alle diese vor dem freien Strande sich in die See hinaus erstreckenden künstlichen Einbauten, wie die Seebuhnen und die Hafendämme, sobald eine Küstenströmung vorhanden ist, und weitere Einflüsse wie ein gegen diese auftreffender kräftiger und anhaltender Spülstrom eines Binnenwassers, nicht auftreten, in ihren Anordnungen und Wirkungen sehr nahe Verwandtschaft mit den Buhnen eines Flusses. Deshalb wurde von jeher bei Entwürfen für die Anlage von Hafendämmen ein gewisser Vergleich zwischen beiden Bauwerken für durchaus notwendig gehalten und auch mit wirklichem Nutzen angewendet. Nur dürfen hierbei die zwischen solchen Werken bestehenden großen Unterschiede nicht außer acht gelassen werden. Bei Flußregelungen geschieht die zur Darstellung günstiger Tiefen für die Schiffahrt erforderliche Breitenbeschränkung in der Regel wirksam durch die Anlage von Buhnen. Sie hat den Zweck, zwischen diesen zur Bildung eines neuen Ufers an ihren Streichlinien eine möglichst vollkommene Verlandung zu erzielen. Bei den Einbauten vor dem Strande des Meeres ist solches indes nicht erreichbar. Hier sind derartige Querschnittbeschränkungen weder möglich, noch auch beabsichtigt, da es für sie keine Grenzen gibt. Deswegen kann auch am Meeresufer allgemein nicht auf solche Wirkungen gerechnet

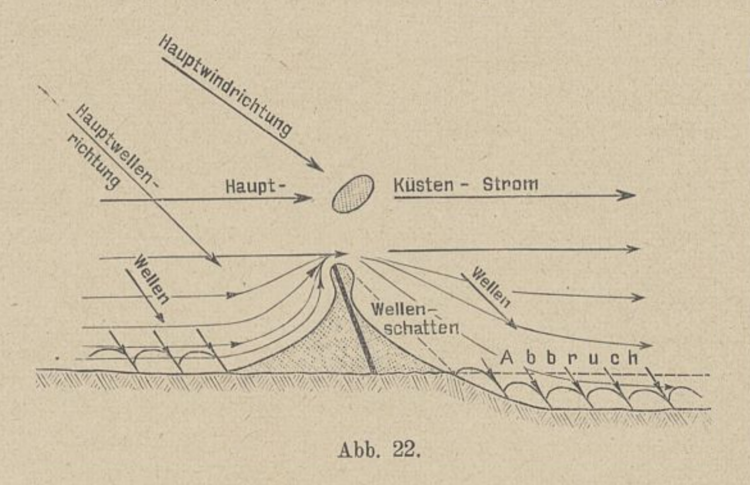


Abb. 22.

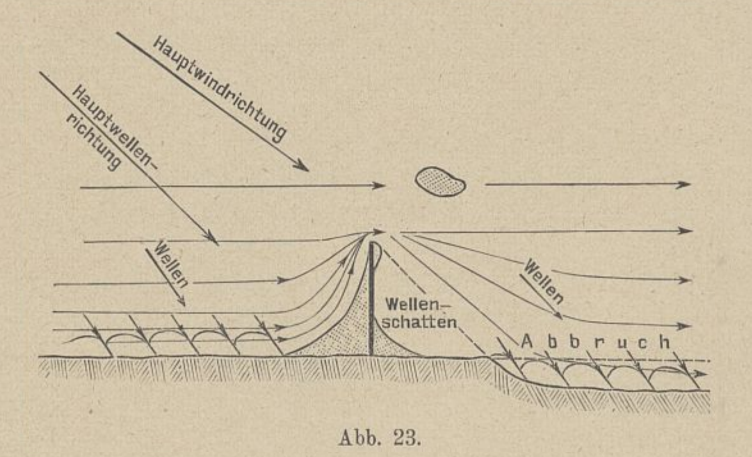


Abb. 23.

werden, wie sie an Flußufern durch diese Einschränkungen hervorgerufen werden.

4. Gegen die Strömung geneigte Einbauten. Der Rückschluß aus den Erfahrungen mit Flußbuhnen ergibt daher ohne weiteres die Folgerung, daß für Einbauten vor dem Strande bei ihrer Verwendung als Hafendämme eine aufwärts gegen die herrschende Strömung gekehrte Richtung, wie sie bei Buhnen solcher Lage am wirksamsten ist, nicht in Frage kommen kann (Text-Abb. 22). Sonst würde gerade die Wirkung eintreten, die bei Hafendämmen höchst unerwünscht ist. Infolge seiner sandfangenden Lage zur Strömung wird der Damm auf der Strömungsseite zunehmend verlanden. Mit der Zeit schiebt sich auch der ganze Strand allmählich nach See zu vor, so daß die angehäuften Sandmassen den Kopf des Werkes umwandern und sich in dessen Schutze auch noch auf der Leeseite des Dammes ablagern.

Die sich vor dem Kopfe des Werkes bildenden Verflachungen werden noch besonders dadurch gefördert, daß sich auf der Luvseite eine längs des Dammes entlangstreichende, nach See zu gerichtete Strömung bildet. Sie erklärt sich durch den Rücklauf derjenigen Wassermassen des Küstenstromes, die bei starkem Winde in den toten Winkel zwischen Damm und Ufer hineingedrängt werden. Ihre Bewegung ist desto kräftiger, je unmittelbarer gerade recht heftige Winde in diesen Winkel hineinstehen, und je stärker daher der von ihnen erzeugte Wellenschlag auftritt. Vor dem Kopfe des Werkes trifft dann dieser nach See zu abgelenkte Teil des Küstenstromes wieder mit der freien, durch das Hindernis nicht beeinflußten Küstenströmung zusammen. Bei diesem Stoße büßen beide Teilströmungen beträchtlich an ihrer lebendigen Kraft ein und schlagen ihre schwebend mitgeführten Sinkstoffe nieder. Da aber der nicht abgelenkte Teil des Küstenstromes erheblich kräftiger ist, kommen die Niederschläge erst etwas unterhalb des Kopfes zur Ruhe und bilden dann hier eine mehr oder weniger ausgedehnte Barre.

Auf die Größe derartiger Barren ist der Neigungswinkel, unter dem der Zusammenstoß der beiden Teilströmungen stattfindet, von ausschlaggebendem Einflusse. Er ist bei den gegen die Küstenströmung gerichteten Werken insofern am ungünstigsten, als hierbei die Rückströmung längs des Werkes nahezu unmittelbar, und zwar unter einem spitzen Winkel, gegen den freien Küstenstrom anläuft. Naturgemäß muß hierbei die Vernichtung lebendiger Kraft ganz besonders groß, und dementsprechend auch der Niederschlag an Sinkstoffen ein sehr starker sein. — Aus dem Übersichtsplane der Hafenanlage von Swinemünde ist die starke sandfangende, in dauernder Zunahme begriffene Wirkung eines solchen gegen die herrschende Strömung geneigten Hafendammes äußerst deutlich erkennbar (Abb. 1 Bl. 44).

5. Senkrecht zur Strömung gerichtete Einbauten. Deshalb gestalten sich diese Strömungsverhältnisse schon weit günstiger, wenn die Bauwerke senkrecht zum Verlaufe der Küstenlinie liegen (Text-Abb. 23). Aber auch hierbei ist die sandfangende Wirkung doch noch immer recht erheblich. Sowohl das Aufhalten der Sandbewegung, als auch die Verzögerung und Ablenkung des Küstenstromes findet noch zu unmittelbar und zu scharf statt. Infolgedessen häufen sich in dem luvseitigen Winkel des Werkes mit der Zeit noch immer reichliche Mengen von Sand an, die sich je nach ihrem Zuwachs nach und nach bis zum Kopf des Werkes vorschieben und auch ihn allmählich umwandern. Ebenso ist der Winkel, unter dem die nach See zu längs des Werkes auftretende Rückströmung auf den freien nicht abgelenkten Teil des Küstenstromes auftrifft, noch zu groß, nahezu ein rechter. Deshalb wird auch die Vernichtung der lebendigen Kraft und dementsprechend die Bildung der schädlichen Ablagerungen vor dem Kopfe des Werkes, der Barre, besonders stark sein.

Wenn aber an der betreffenden Küste entweder gar keine oder nur eine sehr schwache Strömung herrscht, werden die eben beschriebenen Vorgänge in wesentlich geringerem Maße auftreten. Dann mag sogar die Anordnung senkrecht zum Ufer gerichteter Hafendämme völlig genügen und auch nicht ohne weiteres unzweckmäßig sein. Tatsächlich sind auch mehrfach an den italienischen Küsten solche senkrecht zum Ufer gerichtete Hafendämme angewendet. Hier beruht jedoch die Sandbewegung fast ausschließlich auf der Einwirkung der Wellen. Eine vom Wind erzeugte Küstenströmung ist zwar vorhanden und auch ganz beständig, aber nur sehr schwach, so daß sie einen äußerst geringen unterstützenden Einfluß auf die Sandvertriftung ausübt. Die Dämme sollen hier ihren Zweck, die Häfen gegen Versandung zu schützen, lediglich dadurch erreichen, daß sie die Wandersände in ihrer Fortbewegung längs der Küste aufhalten.

6. Mit der Strömung geneigte Einbauten. Wo dagegen die Küstenströmung lebhaft ist, wird ihr Geschwindigkeitsverlust und damit die Menge der sich dabei niedersetzenden Sinkstoffe dann desto geringer sein, je schräger das Zusammentreffen des abgelenkten Teiles mit dem freien Küstenstrome stattfindet.

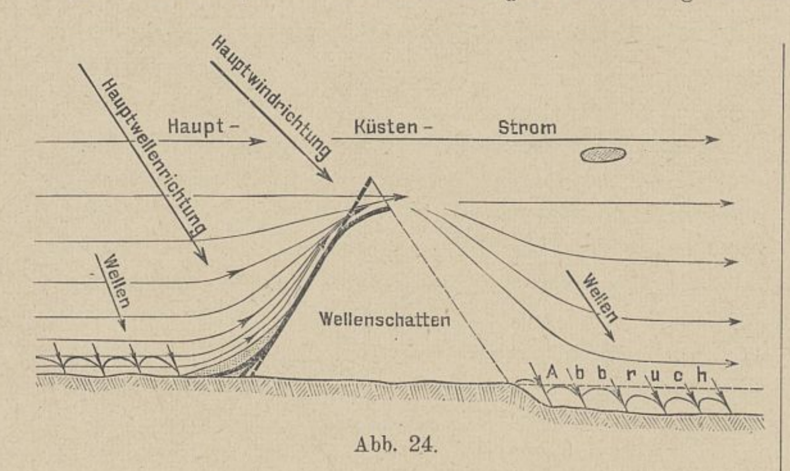


Abb. 24.

In diesem Falle muß der Einbau oder der Hafendamm eine derart schräg abwärts zum Küstenstrome gerichtete allgemeine Lage erhalten, daß er dem Vorbeizuge der Sandmassen ein möglichst geringes Hindernis bietet. Das ist erreichbar, je geneigter mit der Küstenströmung das Bauwerk vom Ufer aus ansetzt, und je mehr sein weiterer Richtungsverlauf sich dem des vorbeistreichenden Küstenstromes anschließt. Solchen Verhältnissen genügt aber weder eine geradlinige Form, noch auch ein nach außen bogenförmig ausbiegendes Werk. Vielmehr entspricht ihnen naturgemäß eine schlanke S-förmig gekrümmte Kurve am allerersten (Text-Abb. 24). Einmal ist bei einer solchen der Winkel zur Küstenlinie, unter dem der Damm am Ufer beginnt, am größten. Je größer aber dieser tote Winkel ist, desto geringer werden dann auch die Sandablagerungen sein, die sich in ihm infolge der Ablenkung des Küstenstromes zu bilden pflegen. Desto langsamer rückt dann auch der Strand längs des Bauwerkes im Laufe der Zeit vor, wodurch in weiterer Folge das so schädliche Versanden des Hafendammkopfes und damit der Hafeneinfahrt hervorgerufen wird. Von der Länge des Werkes hängt es ab, wann dieses völlig eingesandet ist. Anderseits wird bei dem leicht nach außen gebogenen Hauptteil des Dammes die durch den Einbau abgelenkte Strömung nach ihrem Entlanggleiten längs des Bauwerkes ganz sanft und allmählich in die allgemeine Richtung des freien Küstenstromes übergeleitet. Bei einem solchen Zusammentreffen der Strömungen wird ihre lebendige Kraft verhältnismäßig die geringsten Verluste erleiden. Deshalb werden auch die schädlichen Ablagerungen in voraussichtlich kleinstem Maße eintreten, und die Sinkstoffe vielmehr zum größten Teil von der Strömung mit fortgeführt.

Doch sind auch bei derartiger, dem Verlaufe der Küstenströmung auf das günstigste angepaßten Anordnung der Hafendämme, namentlich, wenn die See ruhig ist, gewisse Sandablagerungen in dem toten Winkel des Werkes zu erwarten. Sie führen ein allmähliches Vorrücken des Strandes herbei, sobald die See längere Zeit ruhig bleibt. Erst wenn heftige Winde und sogar Stürme aus der Richtung der herrschenden Winde einsetzen, wühlen die von ihnen erzeugten und gegen den Einbau anlaufenden Wellen mit ihrem längs des ganzen Werkes auftretenden starken Rückstrom die Ablagerungen auf. Diese werden dann von dem Küstenstrome, der durch die bewegte See noch lebhafter geworden ist, mit fortgeführt.

7. Anordnung nur eines Hafendammes. Indes ist ohne weiteres die Anlage nur eines Hafendammes mit Rücksicht auf die dann hervorgerufene Störung des Gleichgewichtszustandes zwischen Ansandung und Uferabbruch, selbst für eine Küste mit ausschließlich nur einseitig gerichtetem Küstenstrome, nicht überall anwendbar. Einerseits werden auf der dem Wellenschlage ausgesetzten Leeseite der Dämme mehr oder weniger starke Uferabbrüche entstehen. Sie erfordern im allgemeinen mit der Zeit meist umfangreiche und teuere Schutzbauten zur Verhinderung weiterer und größerer Landverluste. Anderseits muß damit gerechnet werden, daß sich auf der dem Winde zu liegenden Seite die Sinkstoffe anhäufen und dann ein Vorrücken des Strandes veranlassen.

In hohem Maße ist aber die Anordnung eines solchen einzelnen Dammes dort bedenklich, wo infolge wechselnder Windrichtung die Bewegung der Sände auch zeitweise von der anderen Seite stattfindet. In derartigen Fällen muß der Einfluß dieses Hafendammes auf die Versandung des von ihm zu schützenden Hafenbeckens ganz außerordentlich groß sein. Er übt durch seine schräg aufwärts gegen die Strömung geneigte Lage gerade die nach den Erfahrungen mit Buhnen besonders günstige sandfangende Wirkung aus.

8. Die Hafenanlage von Boulogne. Trotz aller dieser Erscheinungen hat beispielsweise für den Hafen von Boulogne eine einzige derartige schräg gegen das Ufer gerichtete Mole genügt (Text-Abb. 25). Sie schützt das

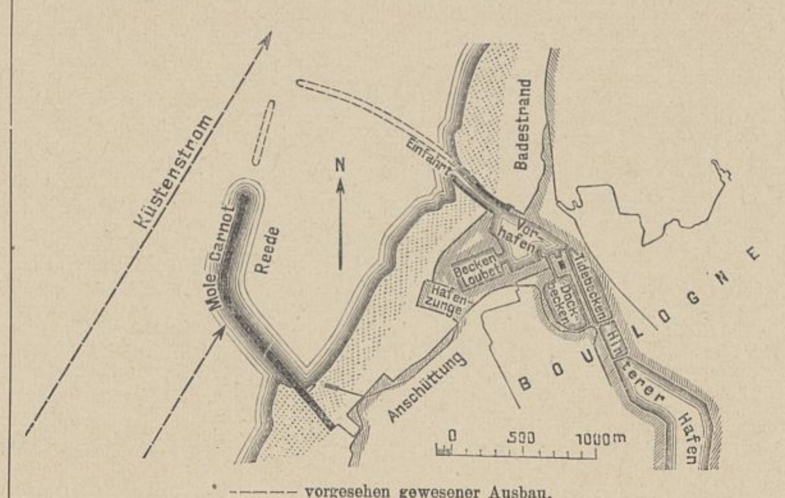


Abb. 25. Hafenanlage von Boulogne.

Hafenbecken gegen W und SW, aus welcher Richtung die herrschenden Winde, sowie die Hauptstürme kommen, und ist mit dem an der Küste entlang von S nach N streichenden Flutstrom, der sehr reichliche Sandmengen mit sich führt, geneigt angeordnet. An ihrem seeseitigen Ende geht sie zur besseren Ableitung der Triebsandbewegung sogar in eine zum Ufer gleichlaufende Stellung über. Allein durch diese Lage hat sie tatsächlich so günstige Verhältnisse geschaffen, daß von den weiter beabsichtigten Molenbauten Abstand genommen werden konnte. Zwar war auch hier auf der Luvseite des Dammes zuerst ein Vorrücken des Strandes eingetreten. Allmählich kam jedoch diese Erscheinung zum Stillstand, und es bildete sich dann mit der Zeit ein nahezu gleichbleibender Gleichgewichtszustand an der ganzen Küste aus. Im übrigen liegen aber die natürlichen Verhältnisse an der Küste von Boulogne für die Anordnung nur einer schräg gegen das Ufer gerichteten Mole besonders günstig. Insbesondere ist die Küste von Boulogne, obwohl sie im

Sandgebiete liegt, doch keine flache Sandküste. Die üblichen nachteiligen Folgen, die einer solchen Anlage immerhin anhängen, konnten bisher leicht und ohne große Schwierigkeiten mit Erfolg bekämpft werden. Die großen Tiefen von 10 m und mehr treten hier verhältnismäßig nahe an das Ufer heran, so daß die Mole bis an ihren Rand geführt werden konnte, ohne dabei ungewöhnliche und zu kostspielige Bauwerkgrößen zu erhalten. Infolgedessen kann der Wellenschlag ungeschwächt bis an die Mole wirken und verhindert dadurch ein Niederschlagen der Sinkstoffe, so daß diese von dem starken Flutstrome weiter die Küste entlang fortbewegt werden.

9. Anordnung zweier Hafendämme. Handelt es sich daher um die Anlage eines Hafens an einer Küste mit häufigerem Wechsel der sandführenden Strömung, kann nur die Anwendung zweier Hafendämme in Frage kommen, die schräg vom Ufer aufeinander zulaufen. Nach obiger Betrachtung müssen sie beide S-förmig gebogen und mit ihren Enden gegeneinander gerichtet sein. Bei dieser Form wird der Küstenstrom auch beim Wechsel seiner Richtung jeweils so wenig als möglich in seiner Vorwärtsbewegung gestört oder aufgehalten. Damit würde auch eine schädliche Versandung der Hafenmündung aller Voraussicht nach auf ein Mindestmaß beschränkt bleiben.

Wie schräg der einzelne Damm geneigt sein muß, hängt von der Stärke des Küstenstromes ab, gegen den er gekehrt ist. Je kräftiger dieser Strom auftritt, desto schlanker ist zweckmäßig die Linienführung des Dammes nötig. Ist der Strom dagegen schwach, so genügt eine steilere Anordnung, die auch den Vorteil einer kürzeren Baulänge bietet.

Bei allen diesen Anordnungen kommt zur Erhöhung ihrer Wirkung viel darauf an, ganz allgemein den Strömungen längs der Werke keine besonderen baulichen Hindernisse zu bieten, damit sie nicht dadurch aufgehalten und geschwächt werden. Deshalb sind tunlichst alle Vorsprünge an den Außenseiten der Dämme zu vermeiden. Namentlich aber müssen die am weitesten vorstehenden Teile der Einfahrt, die Köpfe der Dämme, möglichst steil, eben und glatt beschaffen sein.

10. Köpfe der Hafendämme. Überhaupt erfordern die Seenden der Hafendämme allein schon hinsichtlich ihrer Richtung und Form ganz besondere Beachtung. Gerade sie sollen in erster Linie dazu beitragen, die abgelenkte Strömung dem freien Küstenstrome ohne schädlichen Verlust an lebendiger Kraft zuzuführen und zugleich für das gefahrlose Ein- und Auslaufen der Schiffe die nötige Sicherheit zu bieten. Um dem zu genügen, müssen sie und die Einfahrt, die sie bilden, unbedingt von allen Teilen der Hafenanlage am weitesten seewärts liegen.

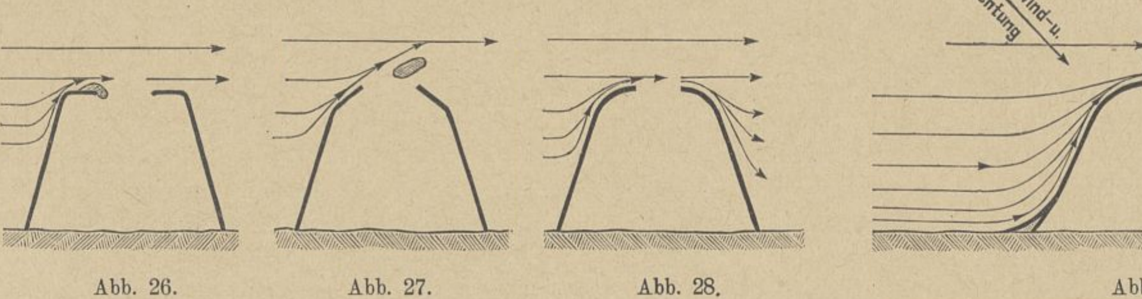


Abb. 26. Abb. 27. Abb. 28.

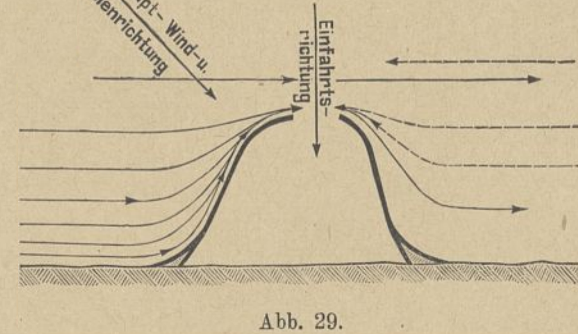


Abb. 29.

v. Horn hat in der Deutschen Bauzeitung, 1892, die verschiedenen in Frage kommenden Grundrißformen für die Seenden von Hafendämmen (Text-Abb. 26 bis 28) eingehender Betrachtung unterzogen. Er kommt dabei zu dem Ergebnis, daß eine vorspringende Halbkreisform (Text-Abb. 28) den größten Vorteil gegenüber den geraden, mit der Küste gleichlaufenden oder schräg zur Strömung gerichteten Enden bietet. Eine solche Form gibt bezüglich ihres Einflusses auf die Versandung der Mündung am ehesten die Gewähr, daß die abgelenkte Küstenströmung nicht gerade vor der Einfahrt wieder nach See zu geleitet wird und dabei infolge Einbuße an lebendiger Kraft den schädlichen Niederschlag der Sinkstoffe und die Barrenbildung herbeiführt. Sie zwingt vielmehr die Strömung genau in der Richtung der Verbindungslinie der beiden Köpfe der Dämme ohne wesentliche Verminderung ihrer Geschwindigkeit an der Hafeneinfahrt vorbeizustreichen, und erleichtert damit die Wandersandbewegung um die Köpfe erheblich. Voraussetzung und Bedingung dabei ist aber, daß die Köpfe der Hafendämme bis zur gleichen Tiefe reichen.

Was anderseits den Einfluß auf die für die Schiffahrt ungünstigen Wellenbewegungen betrifft, so werden durch die Halbkreisform der Enden der Dämme die Bildung der sehr gefürchteten und gefährlichen Kreuzseen vor und in der Einfahrt, bei denen die Schiffe dem Steuer nicht mehr gehorchen, nahezu vermieden. Infolge der runden Form verteilen sich die Wellen mehr nach den Seiten längs der Außenkante der Dammköpfe.

Diese Überlegungen finden vollständige Bestätigung durch die von Engels im Flußbaulaboratorium der Technischen Hochschule in Dresden durchgeführten Untersuchungen der von v. Horn zum Vergleich gestellten Formen der Seenden von Hafendämmen hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Versandung der Einfahrt. Die Ergebnisse zeigen deutlich eine überzeugende Überlegenheit dieser von v. Horn empfohlenen Anordnung nach vorspringender Halbkreisform.

Hieraus läßt sich mit Recht folgern, daß bei einer solchen Form der Seenden in Verbindung mit stromab geneigter und nach außen gebogener, am besten leicht S-förmiger Linienführung des Hauptteils der Hafendämme (Text-Abb. 29) die der Schiffahrt hinderliche und die Offenhaltung des Hafens in Frage stellende Barrenbildung vor der Einfahrt aller Wahrscheinlichkeit nach die kleinste Ausdehnung annehmen wird. — Gänzlich wird sich aber die Gefahr der Versandung der Hafeneinfahrt auch trotz der größten Sorgfalt bei der Wahl der Grundrißform der Hafendämme und ihrer Enden nicht vermeiden lassen. Vor allem kann das allmähliche Vor-

wandern des Strandes an den Bauwerken auf die Dauer schwerlich aufgehalten werden, weil jeder Ufervorsprung an sich schon ein mehr oder weniger wirksames Hindernis für eine glatte Fahrt der Sandwanderung an der Küste entlang bietet. Die Sandwanderung wird auch mit der Zeit die Verflachung der Hafeneinfahrt zur Folge haben. Sie wird aber desto langsamer vor sich gehen, je zweckmäßiger die ganze Anlage der Hafendämme durchgeführt, d. h. je mehr sie dem Verlauf des Küstenstromes angepaßt ist. Die mit der Zeit immer mehr und mehr vordringenden Sandmengen werden allmählich auch die Köpfe der Werke umwandern. Sie gelangen dann in die Einfahrt, sowie auch weiter in das Hafenbecken selbst, wo sie schließlich recht schädlich wirken müssen. Solche Mängel werden stets, auch bei der vollkommensten Form der Bauwerke eintreten. Sie können dann nur durch planmäßige Baggerungen, die letzten Endes das einzig wirksame Hilfsmittel zur Erhaltung der Tiefen darstellen, beseitigt werden.

11. Länge der Hafendämme. Um derartige unvermeidliche Versandungen von vornherein so weit als möglich einzuschränken, kann deshalb in Frage kommen, die Bauwerke gleich bis in beträchtliche Tiefen hinauszuführen, aus denen die Wandersände von den Wellen nicht wieder aufgewühlt werden können. Dann würden in der Tat die Einflüsse der Sandwanderung unschädlich gemacht sein, und die Verlandungen des Strandes, sowie die Entstehung der Barre und die Versandung der Einfahrt müßten sich weit weniger schnell bemerkbar machen können.

Immerhin darf aber dabei nicht außer acht bleiben, daß die Bauwerke, mögen sie sich auch noch so weit in die See hinausstrecken und große Tiefen erreichen, dennoch stets ein Hindernis für die wandernden Sände bilden. Sie werden deshalb auch weiterhin eine Störung in dem Gleichgewichtszustande zwischen Ansandung und Uferabbruch in dem äußeren von den Hafendämmen und der Küstenlinie gebildeten Winkel verursachen. Im übrigen hat das Hinausführen der Hafendämme in beträchtliche, vor allem bis in die bewegungslosen Tiefen, auch schon wegen der hohen Kosten, die ein solcher Bau verursachen würde, eine bestimmte Grenze. Sie muß mit Rücksicht auf die Erreichung des beabsichtigten Zieles und zur Vermeidung unnötig übertriebener Bauwerkgrößen im Einklang stehen mit dem eigentlichen Wirkungsbereiche der Ursachen, die durch die besondere Linienführung und eine bestimmte Länge der Bauwerke überhaupt bekämpft werden sollen.

12. Grenze der Sandbewegung nach der Tiefe zu. Wie die Wellen nicht etwa in ihrer Höhe ungeheuerliche Größen annehmen, sondern immerhin nur beschränkte, von maßgebenden Windverhältnissen abhängige Werte erreichen, so muß sich auch namentlich ihre Ausdehnung und damit ihre Wirkung nach der Tiefe zu naturgemäß in gewissen Grenzen halten. Das muß um so mehr der Fall sein, als sich die Wellentäler keineswegs etwa ebenso tief unter den ruhenden Wasserspiegel senken, wie sich die Wellenberge über ihn erheben. Mithin muß die Tiefe, bis zu welcher die Wellen bei hohem Seegange den Sand in Bewegung setzen und ihn längs der Küste verschieben, tatsächlich beschränkt sein. Der bewegliche Küstensaum kann deshalb, jeweils unter Abhängigkeit von örtlichen Winden und Strömungsverhältnissen, an jeder Küste auch nur eine gewisse Breite einnehmen. Schon Gotthilf Hagen stellte hierüber allerlei Betrachtungen und Beobachtungen an. Nach seiner Ansicht müsse es „eine gewisse Grenze geben, welche der von der seewärts gerichteten Strömung der rücklaufenden Wellen vom Ufer herabgezogene Sand nicht überschreitet, bis zu welcher ihn also die Wellen wieder in Bewegung setzen und ihn daher vermutlich auch wieder nach dem Ufer zurückführen werden".

Nur ein verhältnismäßig schmaler Streifen längs der Küste kann Spielraum der wandernden Sände sein. Der tiefere Meeresgrund nimmt dauernd Sinkstoffe aller Art auf, ohne sie aber wieder zurückzugeben.

13. Neutrale Linie. Aus ähnlichen Überlegungen heraus und angeregt von der aus der Erfahrung gewonnenen sehr wichtigen Tatsache, daß ein vom Ufer in die See hineingebautes Werk völlig nutzlos für die Abhaltung der Sandmassen sein kann, wenn es mit seinem Kopfe nicht bis zu einer bestimmten Meerestiefe vorgeschoben wird, hat vor einigen Jahren der Italiener Cornaglia die Behauptung von dem Vorhandensein einer sogenannten neutralen Linie aufgestellt. Er meint damit eine Linie, von der aus, nach dem Lande gesehen, die Wandersände dem Ufer zngetrieben und auf der Seeseite in die Tiefe gezogen werden. Diese Eigentümlichkeit schreibt er der wechselnden Bewegung der Wellen auf dem Meeresgrunde zu, die einmal in der Richtung der Fortbewegung der Wellen unter dem Wellenberge, das andere Mal in entgegengesetztem Sinne unter dem Wellentale bestehe. Diese Annahme wird durch die allgemeine Wellenlehre völlig bewiesen.

14. Fortbewegung der Wellen. Die Fortbewegung der Wellen ist bekanntlich nur eine scheinbare. Sie ist nicht etwa eine Bewegung der Maße, sondern infolge von Druck nur eine solche der Form. Die Wasserteilchen beschreiben bei unendlich großer Tiefe geschlossene kreisförmige Bahnen. Die Wellenbewegung erklärt sich somit aus einem Schwingungszustande des Wassers. Während jedes Wasserteilchen in seinem Schwingungskreise verbleibt, schreiten die Wellen in der Form fort, und zwar ist ihre Schwingungsdauer gleich der Zeit, in welcher die Wasserteilchen ihrerseits ihre Schwingungskreise durchlaufen. Ihre Bewegung geschieht hierbei stets am oberen Scheitel der Wellen, also unter dem Wellenberge, vorwärts in der Richtung der Fortpflanzung der Welle, und am inneren Scheitel, also unter dem Wellentale, rückwärts in entgegengesetzter Richtung. Nimmt die Wassertiefe allmählich ab, wie solches der Fall ist bei Annäherung der Wellen an den Strand, so hört die eigentliche Wellenbewegung, wobei die lotrechten Wasserfäden hin- und hergehen und sich überneigen, vollständig auf. Die Bewegung der Wasserteilchen im unteren Teil wird sich dann infolge der immer mehr und mehr in Wirkung tretenden Reibung am Grunde gegen den oberen Teil verzögern. Die bisher schwingende Bewegung geht so allmählich in eine fortschreitende über. Der obere Scheitel der Welle eilt dem unteren immer mehr und mehr voraus, bis die Vorderfläche der Welle so steil wird, daß der Kamm sich überschlägt, und die Welle sich bricht. Damit werden die Wassermassen aus ihrem Zusammenhange gelöst, und diejenigen des oberen Wellenscheitels laufen nunmehr mit großer Geschwindigkeit

gegen das Ufer und bis zum Verlust ihrer lebendigen Kraft den Strand hinauf. Hier versickern sie z. T. in dem Sande, der den Strand bildet, der größte Teil indessen fließt mit zunehmender Geschwindigkeit auf diesem wieder nach der See zurück. Er trifft hierbei auf die auflaufenden Wellen, vergrößert die von der Reibung herrührende Verzögerung der unteren Wellenteile und beschleunigt dadurch das Überschlagen des Kammes bzw. das Brechen der nächsten Wellen.

Die in der Richtung der Neigung des Untergrundes wirkende Seitenkraft des Gewichtes der von den Wellen bewegten Sandmassen ist mithin der Kraft der auflaufenden Wellen entgegen und der der rücklaufenden Wellen gleich gerichtet.

15. Allgemeines über die Lage der neutralen Linie. Danach müßte es vor jeder Küste eine Kette in einer Linie liegender Punkte geben, an denen die Kraft der auflaufenden Welle abzüglich der der Untergrundneigung gleichgerichteten Seitenkraft aus dem Eigengewicht der Sandteilchen derjenigen der zurücklaufenden Welle das Gleichgewicht hält. Von dieser Linie nach dem Lande zu würden alsdann die aufgewühlten Sandkörperchen dem Ufer zu getrieben, auf der Seeseite dagegen in die größeren Tiefen zurückgerissen.

Diese „neutrale Linie" kann selbstverständlich nicht an allen Küsten in gleicher Tiefe liegen und wird auch in demselben Meere keineswegs überall und jederzeit beständig sein. Vielmehr muß sich ihre Lage je nach der Gewalt und Wirksamkeit der Wellen, damit auch nach der Richtung der Uferlinie zu den die Strandvertriftung bedingenden wirksamsten Winden, nach der Neigung des Meeresgrundes und nach dem Einheitsgewicht der in Bewegung befindlichen Sandmassen verschieben. Sie wird umsoweiter in größere Tiefen zurückrücken, je stärker die Brandungswellen wirken, und jemehr sich die Neigung des Meeresgrundes, sowie das Einheitsgewicht der Sinkstoffe vermindert. Wenn die maßgebenden Kraftwirkungen dagegen nur verhältnismäßig schwach auftreten, liegt die Linie entsprechend näher dem Ufer zu. In ihrer mittleren Lage, die durch die Dauerwirkung der an der betreffenden Küste vorherrschenden Winde und Wellen gegeben ist, würde die Linie tatsächlich wohl am besten der Grenze des beweglichen Küstensaumes nach der See zu entsprechen. Ihre Kenntnis ist unbedingt in allen Fällen für die Festsetzung der Länge der Hafenaußenwerke von größter Wichtigkeit. Wenn die Köpfe der Werke über diese neutrale Linie hinaus geführt werden, ließe sich, wie auch Cornaglia annimmt, der Eintritt von Sandmassen in die Mündung des Hafens, wenn auch nicht völlig verhüten, so doch zum mindesten ganz bedeutend einschränken.

Die genaue Bestimmung der Lage dieser neutralen Linie erscheint indes nicht so ganz einfach. Selbst Cornaglia macht keine bestimmten, durch Beobachtungen oder sonst wie begründeten Angaben für die Küste seines Heimatlandes. Daß sie für das Mittelländische Meer in 10 m Tiefe zu suchen sei, scheint lediglich auf einer Schätzung seinerseits zu beruhen.

16. Lage der neutralen Linie an der deutschen Ostseeküste. Zur Beantwortung der Frage, in welcher Tiefe sich diese mittlere neutrale Linie vor der deutschen Ostseeküste vorfinden mag, sind die Ergebnisse zahlreicher Peilungen längs der Küste von Memel bis zum Darß untersucht und aus ihnen die entsprechenden Schlüsse gezogen worden.

Wie die sämtlichen Peilungsschnitte zeigen (Bl. 42 u. 43), fällt der Boden des Küstensaumes, auf dem sich infolge der hier fast steten Bewegung des Wassers die Sandwanderung abspielt, in flacher Böschung von i. M. etwa 1 : 60 bis 70 nach der See zu ab. Diese Neigung verläuft jedoch nicht etwa durchweg gleichmäßig. Vielmehr ist deutlich erkennbar, daß sie in gewisser Tiefe bei verschiedener Entfernung vom Ufer entschieden verhältnismäßig flacher, weiter hin sogar allmählich nahezu wagerecht wird. Der Übergang, der nicht überall gleich ist, liegt etwa bei 6 bis 8 m Wassertiefe. Weiter ist aus den Peilschnitten zu ersehen, daß die umgestaltende Einwirkung der in Frage kommenden Naturkräfte auf die Böschungsfläche des Meeresbodens mit der Entfernung von der Uferlinie auffällig abnimmt. Etwa gleichfalls bis zu 6 bzw. 8 m-Tiefenlinie hin ist die Oberfläche der Böschung, wie aus den verschiedenen Peilungen in den einzelnen Schnitten hervorgeht, erheblich mehr ständiger Veränderung unterworfen, als in den größeren Tiefen. Hier, d. i. jenseit der 7 bis 8 m-Linie, bleibt der Boden dagegen im allgemeinen mit zunehmender Wassertiefe viel glatter und gleichmäßiger, wenngleich hier und da der eine oder andere Schnitt auch größere Verschiedenheiten in den Tiefen aufweist. Immerhin ist aus diesen Erscheinungen zu schließen, daß die ständige Veränderung der Bodenfläche des Brandungsgürtels im allgemeinen über die 7 bis 8 m-Linie hinaus immer geringer wird. Mithin muß unter den gewöhnlichen Verhältnissen, die sich aus dem Mittel der Kraftäußerungen der Wellen auf den Meeresboden für einen längeren Zeitraum ergeben, dort, wo die Tiefenlinien verhältnismäßig beständiger und regelmäßiger werden, die Grenze des Streifens zu suchen sein, innerhalb dessen die Wellen zusammen mit den Strömungen die von ihnen aufgewühlten und in Bewegung gehaltenen Sinkstoffe hin und her schieben und sie dabei seitlich verfrachten. Auf der anderen Seite dieser Grenze nehmen die hierher gelangten Sinkstoffe an der Wanderung längs der Küste nicht mehr teil, werden hier vielmehr immer weiter vom Ufer weggezogen und schließlich in die größeren Tiefen gerissen, aus denen sie nicht wieder zurückkommen. Wo sich bei einigen Schnitten Beweise größerer Tiefenwirkungen vorfinden, können diese nur auf außerordentliche Verhältnisse zurückgeführt werden, bei denen die maßgebenden Naturerscheinungen zeitweilig das mittlere Maß ihrer Wirkungen weit überschritten haben.

Selbstverständlich kommt für diese Grenze nicht etwa eine einzige scharf ausgeprägte Linie in Frage. Die dauernden Abnagungen und Ablagerungen, die auf dem Meeresboden vom Ufer aus stattfinden und die Querschnittsänderungen hervorrufen, können unmöglich bei einer bestimmten Tiefenlinie plötzlich aufhören. Sie werden vielmehr nur allmählich abnehmen, was je nach der an dieser Stelle vorhandenen Neigung der schiefen Ebene vor dem Strande nicht in gleichem Maße geschieht. Deshalb stellt sich der Begriff der Begrenzung richtiger als ein Streifen von gewisser Breite dar, und eine mittlere Linie in diesem Streifen wäre dann als die fragliche Grenze für den beweglichen Küstensaum anzusehen.

Einen gewissen Anhalt zur Bestimmung dieser Linie bieten zunächst die beiden Schnitte, die durch Peilungen vor dem Strande beiderseits des Hafens von Memel gelegt worden sind (Abb. 1 u. 2 Bl. 42). Sie zeigen einmal, daß die Umlagerungen

auf dem Meeresboden am größten nach dem Ufer zu sind, und daß weiter nach See zu die Bodenfläche erheblich glatter und ebener wird. Zum anderen geht aus ihnen hervor, daß schon von etwa 6 m Tiefe an eine geringe Verflachung der Böschungsneigung beginnt und bei 8 m Tiefe sogar noch weiter zunimmt, um dann allmählich etwa bei 11 m Wassertiefe ganz flach zu werden oder in nahezu wagerechte Lage überzugehen. Hieraus läßt sich schließen, daß an der Küste bei Memel die Einwirkung der Wellen auf den Meeresgrund zweifellos noch bis 8 m Tiefe hinabreicht, daß sie aber darüber hinaus bald mehr und mehr abnimmt. Mithin muß die längs des Ufers vor sich gehende Verschiebung der Sinkstoffe, die durch die Wellenbewegung hervorgerufen wird, auch noch jenseit der 8 m-Tiefenlinie stattfinden.

Zu ähnlichem Ergebnis führt die nähere Untersuchung von Peilungen, die vor dem Fischereihafen von Neukuhren ausgeführt sind (Abb. 23 u. 24 Bl. 42). An dieser ganzen Küstenstrecke ist die Sandwanderung sehr lebhaft. Dadurch ist das Hafenbecken starker Versandung ausgesetzt. Auch vor der Einfahrt finden ständig starke Sandablagerungen statt, so daß bisher alljährlich verhältnismäßig umfangreiche Baggerungen notwendig waren. Aus den dargestellten Schnitten der vor und seitwärts vom Hafen ausgeführten Peilungen, die jedoch nur bis zur 7 m-Linie ausgedehnt worden sind, geht deutlich hervor, daß diese Tiefenlinie noch dauernd mehr oder weniger in ihrer Lage verändert wird. Wie weiter aus den Querschnitten dieser Peilungen zu ersehen ist, fällt gerade zur 7 m-Linie hin der Boden des Brandungsgürtels verhältnismäßig steil ab. Auch sind bis dahin die Veränderungen der Böschungsoberfläche, die durch die Sandbewegung hervorgerufen werden, beträchtlich. Diese Erscheinungen beweisen, daß hier auf 7 m Tiefe der Wellenangriff noch eine kräftige umlagernde Wirkung auf den Meeresboden ausübt, daß mithin die Grenze dieses Einflusses in größeren Tiefen zu suchen ist.

Wie übrigens die Wanger Spitze durch ihre Wirkung als Einbau vor dem Strande den Küstenstrom nach dem Ufer hin zusammendrängt, zeigt der Schnitt Abb. 22 Bl. 42. Hier tritt die 7 m-Linie bis auf rd. 300 m an die Küste heran, während sie nach den anderen Schnitten in 500 bis 600 m Entfernung von der M. W.-Linie liegt.

Was weiter die Tiefenlinien vor Pillau anlangt, so werden hier die Strömungsverhältnisse vor der Hafenmündung durch die doppelte Einwirkung der durch den Küstenstrom verstärkten Küstenversetzung und des zeitweilig sehr starken Ausstromes des frischen Haffs wesentlich beeinflußt.

Die beiden Seemolen wurden bei ihrer Herstellung ursprünglich bis zu einer Wassertiefe von etwa 6 m in die See hineingeführt. Sie haben aber damals weder durch diese Länge, noch durch ihre allgemeine Lage zur Uferlinie und dem Küstenstrome die Bildung einer ziemlich ausgedehnten Barre vor der Hafenmündung, sowie das Hineintreiben von Sand in die Einfahrt und sein Ablagern zwischen den Molen im Seetief verhindert. Ohne Zweifel lagen hiernach ihre Köpfe noch innerhalb des beweglichen Küstensaumes, und die neutrale Linie wäre mithin weit jenseit der 6 m-Tiefenlinie anzunehmen. Mit der Zeit nahmen jedoch die Tiefen unmittelbar vor den Molenköpfen und in der Hafeneinfahrt erheblich zu, nachdem der Einfluß der Spülwirkung des ausgehenden Haffstromes durch das Weichselhochwasser wesentlich verstärkt wurde. Auch umfangreiche Baggerungen trugen mit dazu bei, daß sich allmählich die Tiefenlinien mehr nach See zu verschoben. Insbesondere verschwanden die Tiefen von 7 und 8 m zwischen den Molen vollständig, und vor der Einfahrt stellten sich Wassertiefen von 9 bis 11 m ein, ein Beweis, daß bei 7 bis 8 m Wassertiefe der Meeresboden durch Wellen und Strömungen noch angegriffen wird.

Bei den planmäßigen Baggerungen, die bisher zur Erhaltung der nötigen Fahrtiefe jahraus und jahrein in dem Pillauer Seegatt und Seetief ausgeführt werden mußten, wurde weiter die Beobachtung gemacht, daß sich auf der 10 m-Tiefenlinie so gut wie kein Sand und auf der 9 m-Tiefenlinie nur noch sehr wenig davon vorfindet. Der hier anstehende Tonboden ist ziemlich frei von Sandbedeckung. In gewisser Übereinstimmung hiermit steht auch die Angabe Hagens in seinem Handbuch der Wasserbaukunst III, daß „der Grund der Reede von Pillau, obwohl die Ufer teils hoch mit Sand bedeckt sind, teils ganz aus Sandablagerungen bestehen und wo auch das tiefe Fahrwasser sich über den Sand hinzieht, nur zäher Ton und ganz frei von Sand wäre“. Als Reede gilt die Fläche südlich quer ab vom Seegatt, ihre Wassertiefe beträgt jetzt noch 10 m. Somit findet in diesen Tiefen unter den gewöhnlichen Verhältnissen keine wesentliche Versandung des Meeresbodens statt. Die Sinkstoffe, die bis in diese Tiefen gelangen, kommen hier nicht mehr zur Ruhe, sondern werden von den maßgebenden Bewegungskräften weiter nach See zu gezogen.

Endlich ist durch Peilungen festgestellt worden, daß an den auf 12 bzw. 11 m-Wasser verlegten Fahrwassertonnen des Pillauer Seegatts die Wassertiefen nahezu stets die gleichen bleiben. Daraus wäre zu schließen, daß bereits die 11 m-Linie so gut wie unveränderlich angesehen werden kann.

Aus diesen Beobachtungen geht hervor, daß vor der Hafeneinfahrt von Pillau die von den Wellen und den Strömungen hervorgerufene Sandbewegung auf dem Meeresboden, die die Tiefenlinien in ihrer Lage ständig beeinflußt, bereits bei 10 m Tiefe aufhört. Hierbei darf aber nicht außer acht gelassen werden, daß der aus dem Frischen Haff durch das Seetief in die See hineindrängende, zeitweise starke Spülstrom auch seinerseits einen gewissen Einfluß auf die Ablenkung der Tiefenlinien ausübt und die Sandbewegung noch ein Stück weiter nach See zu verschiebt.

Ein genaueres Bild dieser Vorgänge auf dem Meeresboden vor der Küste von Pillau gibt die Untersuchung der Peilungen, die südlich von den Molen vor dem Strande auf eine Strecke von rd. 4 km seitens des Hafenbauamts in Pillau alljährlich ausgeführt sind (Abb. 3 bis 7 Bl. 42). Hier verschieben die Tiefenlinien ihre Lage bis zu 9 m Tiefe hin fast dauernd, bleiben aber mit ihren Veränderungen jeweils verhältnismäßig gleichlaufend zu einander. Erst die 10 m-Tiefenlinie wird von diesen Schwankungen weit weniger betroffen und verläuft offensichtlich ganz unabhängig hiervon in einem Zuge längs der Küstenlinie, der mehr Beständigkeit zeigt, als die höher liegenden Tiefenlinien. Nach den zugehörigen Querschnitten nehmen die Unebenheiten der Böschungsflächen bis auf etwa 8 bis 9 m Tiefe ab, ebenso wird deren Neigung von hier ab flacher. Auch hiernach wäre mithin die gesuchte neutrale Linie etwa in einer Tiefe von 9 bis 10 m anzunehmen.

Die nächsten Peilungen (Abb. 12 bis 16 Bl. 42), die für die nähere Untersuchung zur Verfügung standen, liegen bei Stolpmünde und erstrecken sich beiderseits vom Hafen auf eine Gesamtküstenlänge von 6 km. Auch sie sind nur bis zur 7 m-Tiefenlinie durchgeführt worden und lassen deshalb entsprechend beschränkte Folgerungen zu. Immerhin zeigen sie dasselbe Bild starker Veränderlichkeit der Bodenfläche vor dem Strande, sowie der gleichbleibenden Neigung ihrer Böschung bis zu 7 m Wassertiefe hin, wie die Neukuhrener Peilungen. Hieraus ergibt sich gleichfalls, daß noch über die 7 m-Tiefenlinie hinaus die ständige Sandwanderung vorherrscht und erst in größeren Tiefen aufhört. — Wesentlich besser sind die Merkmale der Welleneinwirkungen auf den Meeresboden in den Schnitten der Peilungen vor der Küste bei Rügenwaldermünde (Abb. 8 bis 11 Bl. 42) und Kolberg (Abb. 17 bis 21 Bl. 42) ausgeprägt. Hier ist gut erkennbar, daß der Übergang der Böschung in die flachere Neigung i. M. bei 8 m Wassertiefe liegt. Bis zu diesem Böschungsknicke vom Ufer aus nehmen die von den Sandablagerungen herrührenden Unregelmäßigkeiten der Böschungslinie ganz deutlich ab. Weiter nach See zu verläuft diese Linie sogar entschieden glatter und gleichmäßiger und zeigt auch sichtlich das Bestreben, sich noch mehr zu verflachen. Diese Veränderung der Böschungsfläche ist zweifellos nur dadurch zu erklären, daß über 8 m Tiefe hinaus die Wellen bald immer weniger den Meeresboden angreifen und den aufgewühlten Sand in Bewegung setzen.

Eine Ergänzung zu diesen Feststellungen gibt die Angabe im Ostseehandbuch, Südlicher Teil 1915, über die Tiefenverhältnisse vor der Küste von Funkenhagen bis Rixhöft. Es heißt dort, „daß die Tiefe vor der Küste fast gleichmäßig und allmählich abnimmt. Von der 10 m-Grenze jedoch, die im allgemeinen in kaum 1 Sm Entfernung vom Lande liegt, steigt der Grund verhältnismäßig steil zum Strande auf“. Hiernach würde mithin der Einfluß der Wellen auf die Böschung vor dem Ufer noch bis zur 10 m-Linie reichen.

Ganz besonders deutlich zeigt sich diese Abnahme des Welleneinflusses mit der Entfernung vom Ufer in den nächsten Peilungen (Abb. 1 bis 6 und 7 bis 14 Bl. 43), die vor der Küstenstrecke des Hafenbauamtes Swinemünde von der Ausmündung des Kamper Sees westlich Kolberg bis zur Peenemündung hin ausgeführt sind.

Was die Strecke von Kolberg bis Swinemünde anbetrifft, so erscheint auch hier der fragliche Böschungsknick in allen Querschnitten bei etwa 8 m Tiefe. Von hier ab verflacht sich dann der bis dahin mit verhältnismäßig gleicher Neigung abfallende Boden immer mehr und mehr und wird in Nähe der 10 m-Tiefenlinie sogar beinahe wagerecht. Ebenso gehen hier bei 10 m Tiefe die Böschungslinien der drei verschiedenen Peilungen in den einzelnen Schnitten in auffälliger Weise allmählich fast ineinander über. Aus diesen Feststellungen ergibt sich mit größerer Genauigkeit, als bei den vorhergehenden Betrachtungen möglich war, daß hier die Wellen und mit ihnen auch die Strömungen, solange ihre Kraftäußerungen sich in mittleren Grenzen halten, bereits bei 9 bis 10 m Tiefe kaum noch wesentliche Umbildungen auf dem Meeresboden hervorrufen. Infolgedessen muß in diesen Tiefen der Grenzstreifen liegen, bis zu dem vom Ufer aus die Wandersände auf der Böschung seitlich verschoben werden und dabei deren Oberfläche dauernd verändern.

Auf der westlichen Seite von Swinemünde bis zur Peenemündung hin gestalten sich diese Verhältnisse vor dem Strande, wie die betreffenden Peilungsschnitte zeigen, etwas anders. Dort findet sich im allgemeinen der Übergang in die flachere, von den Wellen weniger beeinflußte Neigung, die sogar allmählich nahezu wagerecht wird, schon in geringeren Tiefen. Während dieser Böschungsknick vor Heringsdorf noch etwa bis 8 m Tiefe festzustellen ist, tritt er westwärts davon überall etwas näher nach dem Ufer zu. Vor dem Streckelsberge und dem Damerower Seedeiche (Abb. 10 u. 11 Bl. 43) befindet er sich bereits in etwa 6 m Tiefe unter M.W. Weiter nach der Peenemündung hin rückt der Beginn der Verflachung sogar immer höher hinauf. Im Mittel liegt der Böschungsknick etwa bei 7 m Tiefe, mithin um mindestens 1 m höher, als in allen bisher untersuchten Schnitten der Küstenstrecken östlich von Swinemünde. Dementsprechend ist auch im großen und ganzen die Tiefe, bis zu welcher der Meeresboden von den Wellen angegriffen wird, geringer und beträgt i. m. nur 8, höchstens 9 m, abgesehen von einigen Stellen, an denen sich vermutlich eine über das gewöhnliche Maß hinausgegangene entsprechende Kraftäußerung geltend gemacht hat.

Daß an dieser Küstenstrecke die Wirkung der Wellen und der Strömungen nicht ganz bis in die gleichen Tiefen hinabreicht, wie an allen übrigen, erklärt sich aus der Lage dieser Strecke zur Richtung der hier vorherrschenden westlichen Winde. Diese Winde sind für das fragliche Küstengebiet ablandige. Sie können somit hier nicht zu ihrer vollen Entfaltung kommen und wirken auf die auflaufenden Wellen stark abschwächend ein. Diese entwickeln daher naturgemäß erheblich weniger Kraft, wie diejenigen Wellen, welche die Winde unmittelbar in ihrer Richtung gegen die Küste treiben. Infolgedessen muß hier auch die Wellenwirkung nach der Tiefe zu weniger stark sein, als an den östlich sich anschließenden Strecken, die den aus der Hauptwindrichtung kommenden, durch nichts abgeschwächten Wellen unmittelbar zugekehrt sind.

Da nach Seite 712 auch die Küstenversetzung in ihrer Wirksamkeit von der Stärke der Wellen beeinflußt wird, muß weiter der Brandungsgürtel, innerhalb dessen sich die Strandvertriftung abspielt, bei den vorherrschenden Winden aus westlichen Richtungen auf der Strecke von Swinemünde bis zur Peenemündung schmaler sein, als dort, wo diese Winde unmittelbar anlandige sind. Mithin liegt unter den gewöhnlichen Verhältnissen die mittlere neutrale Linie vor der Küste zwischen Swinemünde und Peenemündung um etwa 1 m höher als überall östlich davon.

Bei Winden aus östlichen Richtungen dagegen, die an der ganzen südlichen Ostseeküste zwar mit weit geringerer Häufigkeit, aber sehr viel heftiger auftreten, werden sich diese Unterschiede in der Wellenwirkung entsprechend umkehren. Dann ist gerade die Küstenstrecke westlich von Swinemünde ganz unmittelbar diesen Winden und den von ihnen erzeugten Wellen ausgesetzt, und für diese Zeit würde die neutrale Linie mehr nach der See zu, also in größeren Tiefen, liegen.

Die letzten Peilungen, die in den Kreis dieser Untersuchungen gezogen werden konnten, zeigen die Tiefenverhältnisse vor dem Nordstrande des Zingst (Abb. 15 bis 17 Bl. 43).

Sie sind zwar nur bis zur 6 m-Tiefenlinie ausgeführt, bestätigen aber doch immerhin die bisherigen Feststellungen über die Lage der neutralen Linie.

Der ungleichmäßige Linienzug der einzelnen Querschnitte beweist, daß bis zur 6 m-Linie auf der Bodenfläche des Brandungsgürtels Unebenheiten vorhanden sind. Ihre Entstehung ist darauf zurückzuführen, daß mindestens in dieser Breite eine Verschiebung der Sinkstoffe stattfindet. Aus der verhältnismäßig steilen Neigung der Böschung gerade zur Tiefe von 6 m hin geht weiter hervor, daß diese Bewegung sicherlich auch noch in größere Tiefen hinabreicht. Die Grenze der Sandwanderung muß mithin an dieser Küstenstrecke noch tiefer als 6 m liegen.

Otto hat in seiner bereits oben angeführten Schrift „Der Darß und Zingst" die einschlägigen Verhältnisse gerade in diesem Küstengebiet genauer behandelt. Er kommt dabei zu dem allgemeinen Schlusse, daß „angesichts der verhältnismäßig geringfügigen Wellenmasse der Beltsee hier den in Betracht kommenden Wellen und Strömungen in größeren Tiefen als 10 m keine allzu große morphologische Tätigkeit zugeschrieben werden kann". Diese Annahme deckt sich vollkommen mit den obigen Überlegungen, und ihr entsprechen durchaus die Folgerungen, die aus den vorstehend durchgeführten Untersuchungen der einzelnen Peilungsschnitte abgeleitet worden sind.

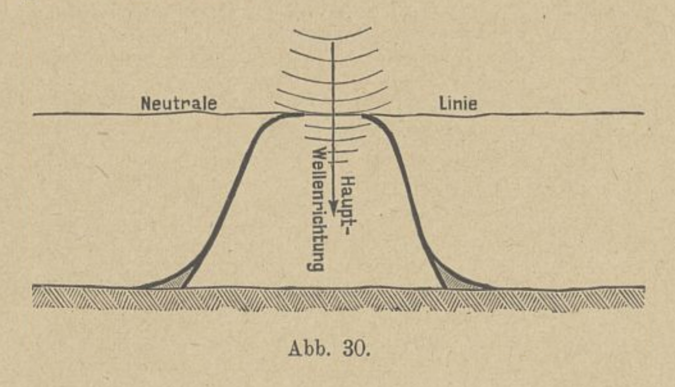


Abb. 30.

Auch aus den Seekarten für das südliche Ostseegebiet lassen sich die gleichen Schlüsse ziehen. Nach diesen Peilungen verläuft überall die 10 m-Linie ganz unregelmäßig zur Küste. An einigen Stellen hält sie sich in verhältnismäßiger Nähe des Ufers, an anderen wieder tritt sie ganz weit in die See zurück. Erst von 9 m ab werden die Tiefenlinien beständiger und gleichlaufend mit der Uferlinie. Danach wird ohne Zweifel die 10 m-Linie nicht mehr von den Bewegungskräften beeinflußt, die den höher liegenden Tiefenlinien ihre natürliche, dem Verlaufe der Küste gleichgerichtete Lage geben. Bei dieser Tiefe muß mithin die Sandwanderung längs der Küste aufhören. Nur bis dahin setzen die Wellen bei hohem Seegange die Sinkstoffe in Bewegung.

Das Endergebnis dieser Betrachtungen läßt sich dahin zusammenfassen, daß die sogenannte neutrale Linie als seeseitige Grenze des beweglichen Küstensaumes an der südlichen Ostseeküste bei dauernder Einwirkung der vorherrschenden westlichen Winde für ihre mittlere Lage in einer Wassertiefe von 9 m anzunehmen ist. An den Küstenstrecken, die jeweils unter Windschutz liegen, tritt sie etwas näher an das Ufer heran. In dieser Lage befindet sich für die westlichen Winde vor allem die Küstenstrecke von Swinemünde bis zur Peenemündung. Hier kann deshalb der Brandungsgürtel nicht dieselbe Breite erreichen, wie an allen anderen Strecken. Infolgedessen tritt auch die Küstenversetzung, deren Stärke von Wind und Wellen abhängig ist, hier weniger lebhaft auf.

Die so ermittelte neutrale Linie gibt für die südliche Ostseeküste die Tiefe an, bis zu welcher die Hafendämme geführt werden müßten, damit die Gefahr der Versandung der Einfahrt ein Mindestmaß erreicht.

17. Länge der Hafendämme zu einander und Möglichkeit ihrer Verlängerung. Im allgemeinen werden wegen des Verhaltens der Küsten mit starker Sandbewegung den künstlichen Einbauten gegenüber beide Hafendämme unter gewöhnlichen Verhältnissen gleich weit bis zur bzw. über die mittlere neutrale Linie hinaus vorgestreckt werden müssen, wo auch starker Seegang keine Einwirkung auf den Grund mehr ausübt. Jedoch werden auch in manchen Fällen hiervon Abweichungen eintreten können, die dann zuvor eingehendster Erwägung bedürfen. Muß beispielsweise die Hafeneinfahrt in die Richtung des stärksten Seeganges gelegt werden, so kann nur eine einzige neutrale Linie in Betracht kommen, diejenige bei heftigstem Seegange. Die Molenköpfe müssen dann in gleicher Höhe liegen (Text-Abb. 30). Wird jedoch die Einfahrt in Richtung eines weniger starken Seeganges, also unter einem spitzen Winkel zur Bewegungsrichtung der Wellen angeordnet, — was namentlich der Fall

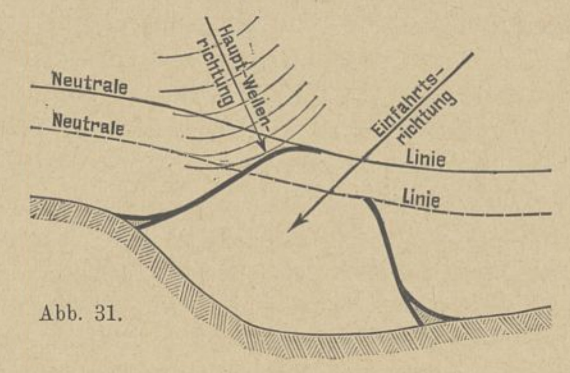


Abb. 31.

sein wird, wenn der Hafen in einer Bucht liegt — dann kann für den Damm unter dem Winde, der dem Seegange weit weniger ausgesetzt ist, eine viel höher liegende neutrale Linie angenommen werden, als für den Damm vor dem Winde erforderlich ist. Der Kopf des ersteren könnte daher weiter zurückliegen, als der des letzteren, ohne daß dadurch voraussichtlich die Gesamtwirkung der Anlage beeinträchtigt würde (Text-Abb. 31). Sehr bemerkenswert hierfür ist das Beispiel des sizilianischen Hafens Empedocle, dessen Molen nach diesen Gesichtspunkten und unter solchen Verhältnissen verschieden weit in die See hinausgeführt sind (Text-Abb. 32). Sie haben einen sehr günstigen Erfolg bei Abwendung der Versandung des Hafens erzielt.



Abb. 32. Hafenanlage von Empedocle, Süd-Sizilien.

Dennoch ist die Anlage ungleich langer Dämme in den meisten Fällen immerhin von zweifelhaftem Werte. Auch sie kann die Anhäufung des Sandes an den Bauwerken infolge deren buhnenartiger Wirkung und das dadurch hervorgerufene allmähliche Vorwandern des Strandes nicht aufhalten. Diese Erscheinungen wirken dann naturgemäß auch auf die ganze Küstenlinie, sowie die Tiefenlinien vor ihr ein. Insbesondere werden sie mit der Zeit die neutrale Linie unmerkbar nach der offenen See zu verschieben. Dann können auch hier nur allein planmäßige Baggerungen die nötige Abhilfe bringen, wenn nicht sogar außerdem noch streckenweise Verlängerung der Dämme bis in größere Tiefen in Frage kommt.

Jedoch ist nicht bei jeder Hafenanlage eine Verlängerung der Dämme möglich, obwohl grundsätzlich hierauf Bedacht genommen werden soll. Gleichlaufende Dämme lassen sich, wenn sie nicht besonders stark gekrümmt sind, meist ohne weiteres bis in die erforderlichen Tiefen verlängern. Wesentlich schwieriger liegen dagegen die Verhältnisse bei den schräg aufeinanderzulaufenden Dämmen, namentlich, wenn ihre Enden noch Halbkreisform haben. In einem solchen Falle wird man sich auf die Verlängerung nur eines Dammes, des vor dem herrschenden Winde liegenden, beschränken müssen. Die Verlängerung würde dann zugunsten einer glatten Linienführung des Dammes dort anzusetzen sein, wo die Rundung des Seendes beginnt, weil jeder entstehende Knick Anlaß zu vermehrter Sinkstoffablagerung gibt. Durch eine derartige einseitige Verlängerung wird zwar das Ein- und Auslaufen der Schiffe bei starken Stürmen und Strömungen aus der Hauptwindrichtung, gegen die der verlängerte Damm Schutz bietet, wesentlich erleichtert, da die Schiffe hier einen größeren ruhigen Seeraum vorfinden. Anderseits aber tritt wegen der ungleichen Länge der Dämme eine starke Beeinträchtigung der Sandbewegung um die Köpfe herum ein, namentlich wenn sogar auch zeitweise mit Strömung von der anderen Seite gerechnet werden muß. Die Folge einer solchen Hemmung der Wandersände ist dann ein Niederschlag der Sinkstoffe, der sich mit der Zeit als schädliche Barre vor der Einfahrt ausbilden wird. Auch die Verlängerung nur eines Hafendammes in größere Tiefen hin stellt deshalb kein ausreichendes Mittel zur dauernden Verhinderung der Verflachung der Hafenmündung dar. Sie kann im günstigsten Falle den Eintritt dieses Zustandes nur in weitere Ferne rücken. Ohne Zuhilfenahme von Baggerungen werden sich die für die Schiffahrt nötigen Tiefen kaum aufrecht erhalten lassen.

Deshalb werden zweckmäßig, vor allem wenn sich die Lage der neutralen Linie nicht einigermaßen bestimmen läßt, beide Hafendämme von vornherein gleich in größere Tiefen hinausgeführt, als vielleicht lediglich für eine gute Hafeneinfahrt unbedingt erforderlich wäre. In diesem Sinne lautet auch einer der Beschlüsse, die der 11. Internationale Schiffahrtskongreß in St. Petersburg über die Frage: „Häfen an sandigen Küsten" gefaßt hat: „Die Molen, parallel oder schräg zu einander stehende, müßten, um wirksam zu sein, bis zu Tiefen geführt werden, in denen die Wirkung der Wellen auf den Meeresboden nicht mehr auftritt."

18. Durchbrochene Hafendämme. Die Überlegung, auf andere Weise solcherlei Schwierigkeiten bei der Bekämpfung der Versandungsgefahr besser zu vermeiden, brachte für die Anlage von Häfen an offenen Sandküsten eine weitere, von den sonstigen Anordnungsarten ganz abweichende Lösung. Sie kann ganz brauchbar sein, wenn sie unter den richtigen Verhältnissen zur Anwendung gelangt. Dieser Anordnung liegt der Gedanke zugrunde, die Sandwanderung längs der Küste nicht durch die Dämme und Molen abzuleiten, sondern sie vielmehr in ihrer Bewegung ungehindert weiter vor sich gehen zu lassen. Zu diesem Zwecke werden die Hauptteile der erforderlichen Hafenaußenwerke tunlichst außerhalb des Bereiches des beweglichen Küstensaumes angelegt. Die Werke erhalten die Form von Wellenbrechern, die entsprechend weit ab von der Küste und möglichst gleichlaufend zu ihr liegen. Zur Aufrechterhaltung des Verkehrs mit dem Land werden sie durch offene brückenartige Bauwerke mit dem Ufer in Verbindung gebracht und bilden dann so eine mehr oder weniger geschütze Reede oder ein ruhiges Hafenbecken.

Wo die Sandwanderung längs der Küste in der Hauptsache nach einer Richtung stattfindet, läßt sich ein Hafenbecken tatsächlich schon durch die Anordnung eines einzigen vom Ufer ausgehenden Dammes schaffen, wie das Beispiel der Hafenanlage von Boulogne (Text-Abb. 25 und S. 726) zeigt. Der Damm müßte draußen in See allmählich gleichlaufend mit der Küste, gegen die Haupt- und Strömungsrichtung abgeneigt, gekrümmt werden und vom Strande aus im Bereiche des beweglichen Küstensaumes auf einer möglichst langen Strecke durchbrochen bleiben, damit die Wanderung der Sinkstoffe ohne größere Störung und Ablenkung durch die Lücken hindurch zwischen dem vollen Teile des Hafendammes und dem Ufer stattfinden kann. Etwa nötig werdende Baggerungen lassen sich dann unschwer und bequem unter dem Schutze dieses Bauwerks im Hafenbecken ausführen. Dabei können sogar Eimerbagger, die nicht einmal seetüchtig zu sein brauchen, verwendet werden.

Diese Art der Anordnung durchbrochener Molen hat indessen bisher noch keine genügende Anwendung gefunden, so daß über ihre Zweckmäßigkeit nur wenige Erfahrungen bestehen. Deshalb liegen auch keine hinreichend abschließende Urteile vor, insbesondere über die höchst wichtige Frage, ob die zwischen dem Ufer und dem Wellenbrecher bzw. im Hafenbecken sich ablagernden Sände leichter durch Baggerungen beseitigt werden können, als die bei den anderen Arten der Anordnung von Hafendämmen auftretenden schädlichen Barren vor der Einfahrt.

Angängig erscheint die Anlage durchbrochener Molen dort, wo ein besonders lebhafter Küstenstrom vorhanden ist und nur nach einer Richtung an der Küste entlangstreicht. Jedoch darf er wiederum nicht so stark sein, daß etwa dadurch der Verkehr im Hafen beeinträchtigt wird, und womöglich der Lösch- und Ladebetrieb an der inneren Seite des vollen Molenteils unliebsame Störungen erleidet.

Gänzlich verfehlt wäre aber die Anordnung an Küstenstrecken mit sehr lebhafter Sandwanderung, auch wenn ein starker Küstenstrom vorherrscht. Der durchbrochene Teil kann zwar, wenn er lang genug ist, und seine Öffnungen ententsprechend zahlreich und vor allem genügend weit sind, den Wellen wohl die Möglichkeit geben, durch ihn hindurch nahezu ungehindert auch innerhalb des Hafenbeckens weiterzuwirken und dadurch die Sandwanderung noch durch den

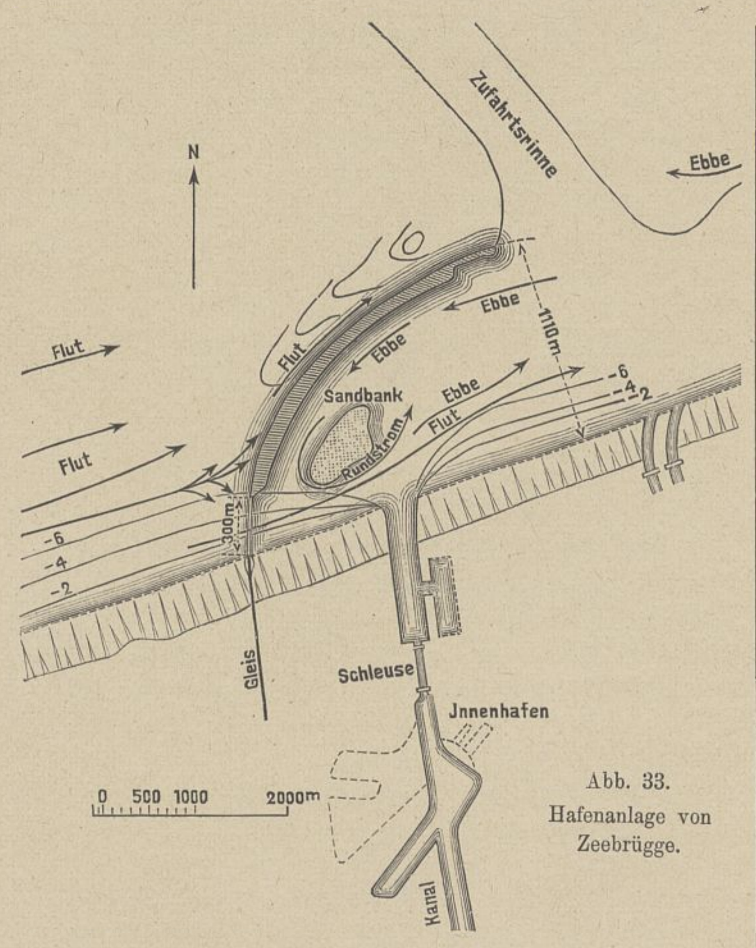


Abb. 33. Hafenanlage von Zeebrügge.

Hafen hindurch ungeschwächt aufrechtzuerhalten. Dann wird aber die Anlage ihren Zweck, den Schiffen ein Wasserbecken zu bieten, in dem sie Ruhe und Sicherheit finden, nicht erfüllen können. Werden aber anderseits die Öffnungen an Anzahl und Breite eingeschränkt, dann treiben die Wellen zwar den Sand in den Hafen hinein, ihre Kraft wird aber durch den Anprall an das Bauwerk gebrochen. Die Strömung verliert ihrerseits ihre lebendige Kraft, die sie zur Fortbewegung des Sandes benötigt. Die Folge muß sein, daß dann die Sandablagerungen im Innern des Hafens erheblich gefördert werden.

19. Die Hafenanlage von Zeebrügge. Bei den großartigen, mit einem Kostenaufwande von 50000000 Fr. ausgeführten Hafenanlagen von Zeebrügge, die den großen transatlantischen Dampfern als Anlaufhafen dienen und damit der alten einst so bedeutenden flämischen Stadt Brügge einen neuen Hafen geben sollten, ist eine derartige durchbrochene Mole zur Anwendung gekommen. Sie läuft in gewaltigem Bogen über 2 km weit ins Meer hinaus (Text-Abb. 33). In der ersten Zeit hatte die Anlage überraschend günstige Erfolge gezeitigt, so daß sie allgemein als wohl gelungenes Beispiel für die Anordnung durchbrochener Hafendämme hingestellt wurde, wenngleich sie nicht völlig den oben betrachteten Bedingungen entspricht.

Die zunächst sehr befriedigenden Ergebnisse der Hafenanlage sind darin begründet, daß hier bei Zeebrügge die Küsten- und Strömungsverhältnisse für eine solche Anordnung ganz besonders günstig liegen. Auch bereits an der belgischen Küste ist durch den Einfluß der vorherrschenden westlichen Winde der Küstenstrom nach Osten gerichtet. Anderseits befindet sich die ganze Küste westlich von Zeebrügge infolge der Herstellung umfangreicher und planmäßiger Uferschutzwerke, die sich etwa von Ostende bis Heyst hin erstrecken und den Strand vor den Angriffen der See erfolgreich schützen, in einem völligen Gleichgewichtszustande und wird auch in diesem weiter erhalten. Infolgedessen wandert bei Zeebrügge Sand in kaum nennenswerten Mengen vorbei, obwohl der durch die Flut verstärkte Küstenstrom recht kräftig ist und sogar zeitweilig eine Geschwindigkeit bis zu 1,40 m/sek erreicht. In der Hauptsache verursacht der durch die westlichen Winde hervorgerufene Wellenschlag hier die Fortbewegung des Strandsandes. Daher werden von den Wellen mit Unterstützung des Flutstromes die geringen Sandmengen durch die Spülöffnungen der Mole in den Hafen hinein getrieben. Weiter können jedoch die Wellen ihre Tätigkeit nicht fortsetzen, weil ihre Kraft an den Bauwerken gebrochen wird und dann rasch abnimmt. Die weitere Fortführung der Sinkstoffe fällt mithin dem Teile der Küstenströmung zu, der durch die Öffnungen der Mole hindurchläuft. Da er jedoch hierbei im Hafenbecken an Breite zunimmt und deshalb in gleichem Maße an Geschwindigkeit verliert, müssen sich die von ihm in den Hafen hineingetriebenen Sandmengen in diesem auch ablagern. In der Tat hat sich so im Hafenbecken allmählich eine ziemlich beträchtliche Sandbank gebildet. Sie wurde jedoch nicht gänzlich beseitigt, weil sie in höchst willkommener Weise einen Teil des in den Hafen eintretenden Flut- und Küstenstromes veranlaßt, an der Mole entlangzugleiten und durch seine Spülkraft hier Ablagerungen zu verhindern.

Eine eigentlich stetig vor sich gehende Sandwanderung ist mithin bei Zeebrügge nicht vorhanden. Die Öffnungen in der Mole sind auch tatsächlich nicht etwa angelegt, um diese Wanderung aufrecht zu erhalten. Sie haben vielmehr lediglich den Zweck, den im Seewasser mitgeführten Schlick an der Ablagerung im Hafen zu verhindern. Zum größten Teile wird das auch erreicht, weil der Schlickgehalt ohnehin ganz unbedeutend ist, und zur Fortbewegung von Schlick schon eine ganz geringe Strömungsgeschwindigkeit genügt. Eine solche ist aber auch noch innerhalb des abgeschlossenen Hafenbeckes stets vorhanden.

Indes scheinen die anfänglich guten Erfolge der Hafenanlage trotz aller günstigen Umstände, die s. Zt. gerade für die Wahl einer durchbrochenen Mole gesprochen hatten, auf die Dauer doch nicht angehalten zu haben. Kaum zwei Jahre, nachdem das erste große Schiff in den Hafen eingelaufen und den Seekanal hindurch nach Brügge hinaufgedampft war, begann die ständige Versandung des Hafens, die sich vor allem als die eben erwähnte Sandbank im Hafeninnern zeigte, ernste Sorgen auszulösen. Nach den einschlägigen Angaben soll 1911/12 die Versandung trotz umfangreicher Baggerarbeiten bedeutender gewesen sein, als in den Jahren 1900 bis 1910, in denen verhältnismäßig wenig Baggerungen nötig waren. Bis zum Jahre 1912 hatte die inmitten der Reede entstandene Sandbank eine Ausdehnung von 800 m Länge und 300 m Breite erreicht und ragte bei Ebbe mit 40 m Durchmesser aus dem Wasser hervor. Dabei verschwand die im Jahre 1908 noch vorhandene Tiefe des Hafens von 8 m längs der Kaimauer immer mehr, und trotz der mit einem guten deutschen Bagger vorgenommenen Baggerungen wurden die Versandungen an der Mole ständig größer. Von Jahr zu Jahr nahm auch der Schiffsverkehr ab. Deshalb scheinen

die großen Hoffnungen, die s. Zt. der belgische Staat auf den Hafen von Zeebrügge gesetzt hatte, durch die in ständiger Zunahme begriffenen Versandungen zunichte gemacht zu werden. Es will anscheinend nicht gelingen, diese Versandungen auch fernerhin mit dem gleichen Erfolge zu bekämpfen, wie in den ersten Jahren. Unter Würdigung der bedauerlichen Sachlage ist vor dem Kriege 1914/18 bereits allen Ernstes in maßgebenden belgischen Kreisen vorgeschlagen worden Zeebrügge trotz seiner kostspieligen Anlagen als Hafen aufzugeben und sich nur darauf zu beschränken, eine Einfahrt von See in den Kanal nach Brüge durch Offenhaltung einer genügend tiefen Fahrrinne von der Höhe der Mole bis zur Mündung des Brügger Kanals zu sichern.

Es scheint neuerdings, als ob die damaligen Pläne jetzt tatsächlich verwirklicht werden sollen. Nach Brüsseler Zeitungsnachrichten besteht bei der belgischen Regierung nicht die Absicht, die im Weltkriege, wenn auch wenig, beschädigte Mole wieder instandzusetzen. Das würde in der Tat bedeuten, daß dem Hafen von seiten Belgiens nicht mehr die Bedeutung beigelegt wird, die ihm ursprünglich gegeben war.

Nach diesen bei Zeebrügge gewonnenen sehr schlechten Erfahrungen ist es deshalb dringend ratsam, bei der Anwendung durchbrochener Molen größte Vorsicht zu gebrauchen, wenn nicht überhaupt davon Abstand zu nehmen. Es müßte denn sein, daß die Verhältnisse in jeder Beziehung ganz besonders günstig liegen.

20. Die Hafenanlage von Neukuhren. Auch an der deutschen Küste der Ostsee ist eine ähnlich angeordnete und auch mit der gleichen Absicht hergestellte Hafenanlage vorhanden. Es ist der schon oben erwähnte kleine Fischereihafen von Neukuhren an der samländischen Nordküste (Abb. 3 Bl. 44). Für seine Anlage ist eine durch die natürliche Gestalt des Ufers gebildete, östlich an die Wanger Spitze anschliessende Bucht ausgenutzt worden. Sie pflegte von den an der dortigen Küste beheimateten Fischern schon von jeher bei heftig auftretenden westlichen bis nordwestlichen Winden aufgesucht zu werden. Durch zwei kleine Wellenbrecher von 280 m und 300 m Länge wurde ein Hafenbecken von etwa 17 ha Größe geschaffen, in dem eine Wassertiefe von rd. 4 m erhalten werden soll. Der östliche Damm geht nur bis etwa 200 m an das Ufer heran und ist von hier ab durch einen auf hölzernen Pfählen stehenden Laufsteg mit dem Lande verbunden.

Neben Gründen der Sparsamkeit war für die Wahl dieser Anordnung vor allem die Absicht maßgebend, den von Westen her an der Küste entlang wandernden Sand ungehindert in das Hafenbecken eintreten zu lassen und ihn nach seiner Ablagerung an unschädlichen Stellen dann durch Baggerung wieder zu beseitigen. Anderseits sollte auch der zeitweilig recht lebhafte Küstenstrom, ohne Ablenkung aus seiner Bewegung nach Osten hin durch den Hafen hindurch in voller Kraft wirksam bleiben. Die Anlage hat indes diese gewünschten Erwartungen nicht erfüllt. Wie schon oben erwähnt, leidet das ganze Hafenbecken, sowie auch die Einfahrt ständig unter starker Versandung. Der Mißerfolg liegt zweifellos darin, daß die Verhältnisse an dieser Strecke der samländischen Küste nicht entfernt so günstig liegen, wie bei Zeebrügge. Die unbedingt nötigen Vorbedingungen, unter denen die Anwendung durchbrochener Molen überhaupt möglich erscheint, geringe Sandwanderung und starker Küstenstrom, treffen hier nicht zu.

Wie auf Seite 717 gesagt war, ist die Sandwanderung an dieser nördlichen Küstenstrecke des Samlandes tatsächlich recht bedeutend. Deshalb hat auch der Hafen von Neukuhren durch die Anwendung einer durchbrochenen Mole seinen Zweck nicht erfüllen können. Der jährliche Zufluß an Sand schwankt hier in Neukuhren erheblich, weil er in gewisser Abhängigkeit zu der Größe und der Dauer der auftretenden Stürme steht. Während die Menge an hineingetriebenem Sand im Hafenbecken beispielsweise im Jahre 1909 zu rd. 22000 cbm ermittelt worden ist, hatte sie in dem darauffolgenden Jahre nahezu den Wert von 43000 cbm erreicht. Sie beträgt etwa 20000 cbm im Jahre durchschnittlich.

Die Strömungsverhältnisse innerhalb des Hafenbeckens und vor der Einfahrt sind sehr ungünstige und äußerst verwickelte. Sie beruhen im wesentlichen auf dem Vorhandensein der offenen Stelle zwischen dem nördlichen Wellenbrecher, der sogenannten Nordmole, und der Wanger Spitze. Hier tritt von den längs der Küste bewegten Wassermassen ein starker Strom in das Hafenbecken ein und entwickelt infolge der Einschnürung an der Wanger Spitze zeitweise hohe Geschwindigkeiten. Es sind öfter solche bis zu 1,85 m/sek gemessen worden. Ein Teil dieses Einstromes hält sich kurze Zeit lang auch noch innerhalb des Hafenbecken weiter am Ufer, bildet sich dann aber, wohl unter dem Einflusse des östlichen Wellenbrechers, der ihn nach innen abzulenken sucht, zu einem auf dem Peilungsplane deutlich erkennbaren wirbelnden Rundstrome aus. Dabei setzt er seine Sinkstoffe mitten im Hafen derart ab, daß sich starke Ablagerungen längst der Ostmole bis zur Einfahrt hin bilden. Sie verflachen dadurch den größten Teil des Hafenbeckens und machen dieses tatsächlich unbenutzbar. Soweit dann der Strom bei diesem Durchfließen des Hafens seine lebendige Kraft nicht eingebüßt hat, gelangt er durch die Einfahrt wieder in die See. Bei gewissen Windrichtungen und -stärken ist außerdem auch an der Ostmole ein schwacher Durchstrom bemerkbar.

Ein anderer Teil des an der Wanger Spitze eintretenden Stromes läuft unmittelbar an der Nordmole entlang durch den Hafen und erreicht so auf dem kürzesten Wege die See wieder. Er verursacht im Hafen keine Niederschläge an Sinkstoffen, da hierzu seine Geschwindigkeit zu groß ist und sie auch keinerlei Verminderung auf dem Wege erfährt.

Vor der Einfahrt treffen diese Teilströme mit dem freien außen vorbeistreichenden Küstenstrome zusammen. Infolgedessen entstehen auch hier Ablagerungen, die sich durch den Einfluß des kräftigen Außenstromes noch einige hundert Meter weit nach Osten zu in der Verlängerung der Nordmole hinziehen, und so das Einlaufen in die ohnehin schmale Einfahrt außerordentlich erschweren. Bei starken West- und Nordwinden steht dann über der Barre eine sehr starke Brandung. Außerdem läuft außen ein derart harter Strom, daß die auf den Hafen angewiesenen Fischerboote trotz ihres verhältnismäßig geringen Tiefganges von kaum 2 m tatsächlich das Einlaufen nicht wagen können.

Die Bildung der Ablagerungen vor der Einfahrt wird noch besonders begünstigt durch den kurzen scharfen Knick

der Nordmole vor ihrem Kopfe. Er ist anscheinend in der Absicht angeordnet, dem aus dem Hafen ausgehenden Strome, ähnlich wie in Pillau, eine strahlartige Wirkung auf die Barre vor der Einfahrt zu geben. Indes verläuft die Nordmole, die ihrer ganzen Länge nach im beweglichen Küstensaume liegt, nicht genau gleich mit der allgemeinen Richtung der Küste, sondern bis zu ihrem Knicke etwas seewärts. Dadurch wird auch der außen entlanggleitende Küstenstrom zum größten Teile entsprechend schräg von der Mole weg nach See zu abgeleitet, und es entsteht dann von dem Knick ab längs der Mole gewissermaßen ein toter Winkel. In ihm befindet sich das Wasser in weniger starker Bewegung und schlägt infolgedessen seine mitgeführten Sinkstoffe nieder. Schließlich ist auch das Spiel der Wellen längs der Mole an der Förderung der Ablagerungen beteiligt. Ebenso werden durch den Wellenrückstrom Sinkstoffe abgesetzt, die sich durch den Einfluß der allgemeinen Strömungsrichtung noch eine Strecke weit nach Osten verschieben.

Fast gänzlich versagt hat auch die Anordnung der Lücke zwischen dem anderen Wellenbrecher, der Ostmole, und dem Ufer. Ein Austrom aus dem Hafen tritt hier entgegen der erwarteten Annahme fast garnicht ein. Nur bei starkem WNW- bis NNW-Winden ist hier gelegentlich eine ganz schwache ausgehende Strömung beobachtet worden. Der an der Wanger Spitze eintretende Strom gelangt zum weitaus größten Teile garnicht bis zur Ostmole. Er wird durch die Zunahme der Ablagerungen im Hafenbecken immer mehr und mehr nach innen zu abgelenkt. Dagegen findet bei östlichen Winden durch diese Öffnung zuweilen ein starker Einstrom statt, der entsprechende Mengen von Sand mitten in den Hafen hineintreibt und damit viel zur Verflachung des Beckens beiträgt. In diesem Falle tritt auch noch durch die Einfahrt ein Strom von annähernd gleicher Stärke ein und ruft im Hafen ähnliche Wirkungen hervor.

Ein weiterer Mangel der Anlage macht sich auch an der östlich anschließenden Küstenstrecke bemerkbar. Bald nach Herstellung des Hafens wurde hier das Ufer ständig weggerissen. Die Ursache dieses Landverlustes war darin zu suchen, daß infolge des starken Aufhaltens der Wandersände durch die Hafenanlage die Sandzufuhr auf der Ostseite nahezu unterbrochen, der Gleichgewichtszustand der Küste mithin gestört war. Sie konnte auch durch den erheblich schwächeren westlich gerichteten Küstenstrom, wenn er in Wirkung getreten war, nicht annähernd ausgeglichen werden. Zum Schutze des gleich hinter dem Strande ansetzenden lehmigen Steilufers wurden deshalb im ganzen 15 Pfahlbuhnen von je 90 m Länge und in dem gleichen Abstande von einander mit ihren Köpfen bis zur 2 m-Linie angeordnet. Diese Anlage hat sich sehr gut bewährt und in der Tat den Strand vor weiterem Abbruch geschützt.

Eine Verbesserung dieser höchst unzuträglichen Verhältnisse läßt sich ohne Zweifel vor allem durch Schließung der Öffnung an der Wanger Spitze erreichen, weil dadurch das weitere schädliche Eindringen der sinkstoffreichen Küstenströmung in das Hafenbecken verhindert sein würde. Aber auch die Ostmole müßte in ihrer vollen Bauweise bis zum Ufer durchgeführt werden und hier festen Anschluß an den Strand erhalten. Damit wäre zugleich auch die Sandzufuhr von Osten her in den Hafen aufgehalten, wenn bei östlichen Winden der westlich gerichtete Küstenstrom einsetzt und die Wasser- und Sandmassen längs der Küste zurückstaut.

Dennoch erscheint es fraglich, ob sich mit dieser Verlängerung beider Molen die Bildung von Ablagerungen vor der Einfahrt und am Nordmolenkopfe wesentlich verringern würde. Auf sie übt der nach Südost gerichtete Knick der Nordmole einen fördernden Einfluß aus. Durch ihn wird von dem am Werk entlanggleitenden Küstenstrom ein Teil in höchst ungünstiger Weise aus der allgemeinen Hauptrichtung nach innen zu abgelenkt. Auch kommt hinzu, daß sich die Nordmole völlig innerhalb des beweglichen Küstensaumes nahezu in dessen Richtung hinzieht. Sicherlich aber hätte sich die Gefahr der Versandung auch bei der gleichen Grundrißanordnung wesentlich vermindert, wenn außerdem von vornherein die Hafeneinfahrt in größere Tiefe hinausgelegt worden wäre, als für das Hafenbecken planmäßig vorgesehen war.

Aus alledem geht hervor, daß die Anordnung der Neukuhrener Molen bei den an Ort und Stelle, sowie an der ganzen Küste vorliegenden Verhältnissen verfehlt ist. Gerade an einer solchen Küstenstrecke mit ganz besonders starker Sandbewegung verlangt die Wahl der zweckmäßigsten Lage der Hafendämme die genaueste Beachtung der aus obigen Betrachtungen abzuleitenden Gesichtspunkten. Nach diesen könnte etwa eine Anordnung der Hafendämme in Frage kommen, wie sie auf Abb. 3 Bl. 44 als Vergleich zu der bestehenden Anlage gestrichelt angedeutet ist.

VI. Anlage von Häfen an der Ausmündung von Binnengewässern.

1. Allgemeines über Spülströme. Zwar ähnlich, aber weit verwickelter gestalten sich die Verhältnisse für die Anordung von Hafendämmen dort, wo in die Tätigkeit des beweglichen Küstensaumes noch die spülenden Einflüsse der Auswässerung eines in die See unmittelbar einmündenden Flusses eingreifen oder auch eines Binnenmeeres, in das sich entweder Flüsse ergießen oder das von der See bei auflandigen Winden gespeist wird. Derart hervorgerufene Uferlücken stellen eine recht erhebliche Unregelmäßigkeit in der Gestaltung des vielleicht sonst glatt gestreckten Küstensaumes dar. Sie können von den Wanderständen zumeist nicht ausgefüllt und deshalb auch nicht wieder ausgeglichen werden, weil die Spülströmung des Binnenwassers stets von neuem eine etwa begonnene Verschiebung der von der Strandvertriftung herrührenden Ablagerungen aufwühlt und je nach ihrer Kraft zunichte macht.

Der Wirkungsgrad der Spülung hängt naturgemäß außer von der Stärke vor allem von der Reinheit des Stromes ab, der aus der Uferlücke austritt. Enthält dieser große Mengen an Sinkstoffen, so wird sein Einfluß auf die Beseitigung von Ablagerungen in und vor der Uferlücke stark beeinträchtigt. Flüsse führen oft recht ansehnliche Mengen von Sinkstoffen aus dem Binnenlande der See zu. Die Haffe dagegen wirken für ihre Zuflüsse als Klärbecken. Die in sie hineingelangenden Sinkstoffe lagern sich zum größten Teile ab, so daß ihr Ausstrom verhältnismäßig rein ist. Infolgedessen muß dieser auch viel wirksamer sein, da ohnehin die Dichte des Haffwassers größer, als die des Flußwassers ist. Dort aber, wo unter dem Einflusse der Winde die Aus- und Einströmungen

zwar in gewisser Stetigkeit, aber ganz unregelmäßig wechseln, ist eine dauernde Offenhaltung der Uferlücke nicht möglich, weil die See jedesmal bei ihrem Eintritt in die Uferlücke Sandmassen aus dem beweglichen Küstensaume mitbringt und dadurch eine die Wirkung der Spülkraft mehr oder weniger vermindernde Verstopfung der Ausmündung verursacht. Wenn dann der Rückstrom nicht stärker ist, als der Einstrom, wird er nicht imstande sein, die Niederschläge wieder in die See zurückzuführen.

Soweit die Spülströme durch den Abfluß von Flüssen oder Haffen bzw. Binnenseen entstehen, sind sie zumeist beständig, aber von verschiedener Mächtigkeit. Diese wiederum ist abhängig von der mit der Jahreszeit schwankenden Größe der Regenmengen im Zuflußgebiet des aus dem Binnenlande kommenden Gewässers, sowie von den hauptsächlich durch die Winde bedingten Wasserständen des Meeres an der Küste. Zeitweilig kann auch ein Rückstau vom Meere aus eintreten. Dann findet sogar eine eingehende Strömung statt. Noch weit mehr wird in den Meeren mit Ebbe und Flut die gleichmäßige Zuströmung des Binnenwassers durch den Eintritt der Flutwelle in die Uferlücke unterbrochen und unregelmäßig beeinflußt. Das Binnenwasser liegt bald im Stau, bald fließt es mit vermehrter Geschwindigkeit ab.

Im allgemeinen ist die Stärke der natürlichen Spülströmung am größten, wenn die Uferlücke mit dem Meere durch einen größeren Binnensee verbunden ist, und dieser durch die Schwankungen des Meeresspiegels zeitweilig bedeutende Wassermengen aufnimmt und wieder abgibt.

2. Versandung der Mündung. Vor solchen Uferlücken bilden sich infolge der Vernichtung der lebendigen Kraft des Binnenwassers, die teils durch den Stoß auf die in einem gewissen Ruhestand befindlichen Wassermassen des Meeres, teils durch das Zusammentreffen mit dem Flutstrom hervorgerufen wird, Barren aus, die in ihrer Gestalt und Tiefe von der Kraft der Auswässerung und der Stärke der Küstenströmung, sowie der Winde und deren Richtung abhängen. Sie wechseln daher fortwährend ihre Ausdehnung, jedoch immerhin in bestimmtem Maße, da alle drei Naturerscheinungen in gewissen Grenzen stetigen Schwankungen unterworfen sind.

Im Tidegebiet können die in das Mündungsbecken des Binnenwassers eingetriebenen Sände zuweilen eine langsam fortschreitende Verlandung der ganzen Uferlücke bewirken. Dadurch entsteht mit der Zeit eine Schwächung der Wirkung der Spülung, und es bildet sich allmählich sogar eine landwärts gerichtete Barre aus. In dem gleichen Maße, wie diese Ablagerungen anwachsen, wird das Flutfassungsvermögen des Mündungsbeckens seinerseits selbst abnehmen und abgeschwächt werden. Dann verliert der Ebbestrom an Stärke immer mehr und mehr, während die von der See her wirkenden Naturkräfte unveränderlich bleiben.

3. Ausnutzung des Spülstromes. Zur Erhaltung dieser Uferlücken, sowie zur Verteidigung gegen Versandung der Ausmündungen der Binnengewässer und damit zugleich zur Offenhaltung der Einfahrt in diese, wenn sie zu Hafenzwecken nutzbar gemacht werden sollen, ist ein kräftiger Spülstrom nicht nur wohl geeignet, sondern auch im hohen Grade notwendig. Seine Tätigkeit wird am günstigsten, wenn die Uferlücke selbst nach Form und Weite so beschaffen ist, daß sie eine strahlartige Wirkung des Stromes veranlassen kann. Je mehr daher der Spülstrom bis zur Barre selbst oder wenigstens bis in deren unmittelbare Nähe zusammengehalten wird, und ihm so die zum Aufwühlen der Ablagerungen erforderliche Geschwindigkeit verbleibt, desto eher wird eine Erniedrigung der Barre eintreten. Deshalb ist anzustreben, die Mündung des Spülstromes möglichst nahe an die Barre heranzubringen. Zu dem Zwecke müssen aber in der Regel die Uferlücken bzw. die Ausmündungsstellen des Binnenwassers, soweit sie im Gebiete des beweglichen Küstensaumes liegen, durch leitdamm- oder molenartige Bauwerke eingefaßt und meist auch noch auf diese Weise künstlich verlängert werden, damit die Barre möglichst weit weg vom Ufer zu liegen kommt.

4. Aufgabe der Hafenaußenwerke. Solchen Bauwerken fallen dann verschiedene Aufgaben zu. Einmal haben sie die Uferlücken und die Mündungen scharf zu begrenzen und festzulegen. Sodann sollen sie die aus dem Binnenwasser ausströmenden Wassermengen derart zusammenfassen, daß ihre lebendige Kraft zur Beseitigung von Ablagerungen und zur Offenhaltung der Einfahrt möglichst geschlossen auf eine bestimmte Stelle der Barre einwirkt. Nicht zuletzt aber müssen sie auch die Wandersände in günstiger Weise um die Hafenanlage herumleiten und ihren schädlichen Niederschlag vor und in der Hafeneinfahrt soweit als möglich verhindern.

Diese Aufgaben werden die Werke dann am leichtesten erfüllen können, wenn die vorhandenen Mengen an Sinkstoffen, sowohl des ausströmenden Binnenwassers, als auch des beweglichen Küstensaumes, gering sind, und wenn der Küstenstrom schwach, dagegen aber die Spülströmung des Binnenwassers recht kräftig ist.

5. Anordnung der Hafenaußenwerke. Am wichtigsten und zugleich am schwierigsten ist, bei Anordnung solcher Hafenaußenwerke auf die Fernhaltung und Ablenkung der Wandersände der Küste von der Mündungsstelle durch sie genügende Rücksicht zu nehmen. In dieser Beziehung sind jedoch die gleichen Grundsätze zu beachten, die für die Anlage der Außenwerke von Häfen an der freien Sandküste gelten. Danach kommen zweckmäßig zwei gegeneinander gerichtete Hafen- bzw. Leitdämme, deren S-förmige Biegung schräg zur Uferlinie geneigt sein müßte, zur Anwendung in Frage. Ihr Grundriß muß weiter auch so angeordnet sein, daß die räumende Spülkraft des Binnenwassers bei der Abwehr der Versandungen vor den Köpfen der Dämme auf das wirksamste ausgenutzt wird. Deshalb ist ähnlich, wie für die auf S. 725 besprochene Ableitung des auf der Außenseite der Dämme auftretenden Rückstromes, hier bei den ungleich größeren in Bewegung befindlichen Wassermengen der Winkel zwischen dem Spülstrom und der Küstenströmung, sowie der Richtung des Wellenschlages möglichst spitz zu halten, weil dadurch der größte Einfluß auf die Tiefe und die Befahrbarkeit der Barre ausgeübt werden kann.

Wenn diese Kräfte unmittelbar aufeinander stoßen, wird naturgemäß der Verlust an Geschwindigkeit und an lebendiger Kraft ganz besonders groß. Dementsprechend muß auch der Niederschlag der schwebend mitgeführten Sinkstoffe recht erheblich werden. Je schräger deshalb dieser Stoß gerichtet ist, und je mehr die Austrittsrichtung des Spülstromes mit der Bewegung des vorherrschenden Küstenstromes überein-

stimmt, desto weniger wird Geschwindigkeit und lebendige Kraft des aus der Uferlücke austretenden Stromes beeinträchtigt. Dann können die schädlichen Ablagerungen vor den Köpfen der Werke und vor der Einfahrt auch nur verhältnismäßig geringen Umfang annehmen und werden der Schiffahrt am wenigsten schaden. Außerdem wird dabei noch eine günstige Beruhigung der über der Barre vor der Mündung brandenden See ausgeübt, und die Einfahrt über die Barre sehr wesentlich erleichtert.

Die Höhe der Barre selbst kann sogar ein geringes Maß erreichen, wenn der Spülstrom und die Küstenströmung nahezu in die gleiche Richtung gebracht werden. Noch günstiger wird die Wirkung, wenn außerdem die Richtung des Spülstromes so nahe als möglich mit der des vorherrschenden Wellenschlages zusammenfällt.

Solche Wirkungen zu erzielen sind aber senkrecht oder auch nur annähernd senkrecht zur Uferlinie gerichtete Dämme nicht zweckmäßig, wenngleich sie allerdings weit geringere Längen erhalten könnten, und der zwischen ihnen geführte Spülstrom auf dem kürzesten Wege die größten Tiefen erreichen würde. Gerade die Verengung, die zwei schräg gegeneinander gerichtete Dämme an ihren Enden bilden, bieten an sich einen besonderen Vorteil für eine gute Wirkung des Spülstromes, wenn dieser eine entsprechende Breite hat. Er wird kurz vor seinem Austritt aus der Mündung in günstigster Weise stark zusammen geschnürt, so daß sich seine Austrittsgeschwindigkeit vergrößert und damit sein Angriff auf die Barre nach Richtung und Kraft entsprechend verstärkt. Dann kann er vermöge seiner Trägheit die ihm angewiesene Richtung und die ihm erteilte Geschwindigkeit noch im freien Meere eine längere Zeit beibehalten. Er würde so in der Tat fähig sein, eine strahlartige Einwirkung auf eine bestimmte Stelle der Barre vor der Mündung auszuüben und sowohl dort, als auch in und vor der Einfahrt, weitere schädliche Ablagerungen von Sinkstoffen zu verhindern.

Der Erfolg muß umso günstiger und wirkungsvoller ausfallen, je größer die Austrittsgeschwindigkeit des Spülstromes ist, und je länger dieser seine dadurch bedingte Kraft ungeschwächt weiter beibehält.

Die Masse der Barre ist infolge des über ihr herrschenden heftigen Wellenschlages, der die feineren Sandteilchen nicht zur Ruhe kommen läßt, gröber, als der an der Küste abgelagerte Sand. Bei weiterer Verschiebung der Barre nach See zu, wo sie weit stärkerem Seegange ausgesetzt ist, wird der Sand sogar noch festeren und härteren Bestand annehmen, weil hier nur die besonders schweren Sinkstoffteilchen zum Niederschlag kommen. Daher ist gerade hier, wo die Ausbildung der Barre am größten und vor allem am schädlichsten werden kann, die nagende Wirkung des Spülstromes in ganz besonders kräftiger Weise und in erster Linie erforderlich. Jedoch wird von der Kraft des Spülstromes ein sehr großer Teil bereits durch die Arbeit des Auflösens der Sandablagerungen aufgezehrt, so daß zur Fortbewegung der aufgewühlten Sandmassen nur noch ein verhältnismäßig geringer Teil an Kraft zur Verfügung bleibt. Daher müßte danach gestrebt werden, wenn nur die Bekämpfung der Versandung der Hafeneinfahrt berücksichtigt wird, eine recht hohe Wassergeschwindigkeit zu erhalten. Sie wäre durch eine möglichst starke Verengung der Leitdämme an ihren Köpfen zu erreichen.

6. Breite der Einfahrt. Indes verlangt die Rücksichtnahme auf die Möglichkeit eines glatten Einlaufens der Schiffe, die eins der Hauptererfordernisse für einen guten Außenhafen bildet, ohne weiteres eine nur wenig eingeschränkte Breite der Mündung. Das Einlaufen der Schiffe, namentlich der Segelschiffe, wird wesentlich erleichtert, wenn es nicht nur in einer einzigen Richtung geschehen muß. Vielmehr ist ein Spielraum von mehreren Strich nach jeder Seite von großem Vorteile, weil dadurch den Schiffen möglich wird, aus verschiedenen Richtungen einlaufen zu können. Besonders wenn noch ein starker Strom vor dem Hafen vorbeistreicht, ist eine solche Mündung, die in verschiedenen Richtungen durchfahren werden kann, äußerst wertvoll. Um die Endwirkung des Spülstromes so wenig als möglich abzuschwächen, wäre mithin die Breite zwischen den Molenköpfen so weit zu verringern, wie es zur Gewährleistung eines sicheren, bequemen und gefahrlosen Einlaufens gerade noch zulässig ist. Ohnehin darf die Mündung nicht so weit sein, daß der Seegang ungeschwächt zwischen den Molen eindringen kann.

Dieses für die Schiffahrt zu fordernde geringste zulässige Maß an Breite läßt sich aber wegen der in jedem Falle verschiedenen Bedingungen nicht allgemein und bestimmt festlegen. Es ist zum Teil durch die Größe der verkehrenden Schiffe, noch mehr aber durch die Lage des Hafens bedingt. Je weniger stark der Wellenschlag und die vorbeiziehende Strömung ist, desto geringere Breite kann für die Einfahrt gewählt werden. Im übrigen wird die bei ausbuchtender Form der Leitdämme unmittelbar hinter der Einfahrt schnell zunehmende Breite des Hafenbeckens die Kraft des Seeganges sehr günstig abschwächen. Sie verhindert auch, daß die Wellen sich durch die Einfahrt weiter hafenwärts fortpflanzen und hier auf den Hafenbetrieb schädlich wirken.

7. Gleichlaufende Hafendämme. Die strahlartige Wirkung, die der Spülstrom bei seinem Austritt aus der Mündungsstelle, der Hafeneinfahrt, auf die Barre ausüben soll, hängt vor allem davon ab, daß der ausgehende Strom auf seinem Wege bis zur Ausmündung möglichst wenig von seiner Geschwindigkeit einbüßt. Er darf deshalb auf diesem Wege nicht zu viel Widerstand finden. Solches ist aber der Fall, wenn er ohne seitliche Begrenzung erst ein breites Hafenbecken durchströmen muß, wie es durch zwei schräg zum Ufer und gegeneinander gerichtete Dämme gebildet wird. Wenn der Strom dagegen von zwei annähernd gleich zueinander laufenden Dämmen eingefaßt wird, so kann durch zweckentsprechende Bemessung ihrer Abstände seine Geschwindigkeitsgröße geregelt werden. Ohne Zweifel läßt sich der Spülstrom zwischen solchen gleichlaufenden Dämmen weit besser und vor allem auch auf eine größere Strecke hin zusammenhalten und bis zu seinem Austritt aus dem Hafen leiten. Hafenanlagen, bei denen in erster Linie auf die Sicherung der Einfahrtstiefe Bedacht genommen werden mußte, erhielten deshalb eine schlauchartige Form. Die Leitdämme, die den Schlauch einfassen und die Mündung des Stromes verlängern, laufen meistens ganz gleich miteinander und sind so bis zu einer von der Größe des Hafens abhängigen Tiefe in die See hinausgeführt. Bei der näheren Gestaltung des Grundrisses für eine solche Hafenanlage kann dann weiter besondere Rück-

sicht entweder auf die vorherrschende Windrichtung und Küstenströmung oder auf die Richtung der stärksten Stürme, die meist von jenen Richtungen abweicht, genommen und dementsprechend der Hafenschlauch an der Mündung umgebogen werden.

Ist die Strandvertriftung stark und der Küstenstrom sehr lebhaft, werden die Leitdämme zweckmäßig an ihren Enden mit der Bewegungsrichtung der Wandersände gekrümmt. Je kleiner dabei dieser Winkel ist, unter dem der Spülstrom mit dem Küstenstrom zusammentrifft, desto geringer wird für den Spülstrom der Verlust an lebendiger Kraft, und desto stärker bleibt seine Wirkung auf die Barre, die noch durch leichte Verengung der Dämme nach der Mündung zu nicht unerheblich erhöht werden kann.

Wo bei anderen Hafenanlagen wegen größerer Rücksichtnahme auf ein glattes Einlaufen der Schiffe der Hafenschlauch, wie z. B. in Swinemünde geschehen, an einem Seeende zur Abhaltung des schwersten Seeganges aus der Richtung der stärksten Stürme abgebogen ist, kann auf natürliche Offenhaltung der Einfahrt meist nur dann einigermaßen gerechnet werden, wenn der vorhandene Spülstrom ganz besonders kräftig auftritt. Aber auch in diesem Falle lassen sich wegen der überaus sandfangenden Wirkung einer solchen Anordnung, die bei entsprechender Bewegungsrichtung der sandführenden Küstenströmung mit den üblichen Folgen für Barre und Einfahrtstiefen unbedingt eintreten muß, schwerlich ohne mehr oder weniger umfangreiche Baggerungen dauernde erträgliche Zustände an der Mündung schaffen.

Bei Bemessung der Schärfe solcher Krümmung der Dämme sind jedoch noch andere Gesichtspunkte zu beachten. Besonders lange Schiffe verlangen bei starker Biegung des Spülschlauches für gefahrloses Einlaufen eine genügende Breite der Fahrrinne zwischen den Dämmen. Diese wird aber dann je nach ihrer Größe die Wirksamkeit des Spülstromes entsprechend beeinträchtigen. Weiter können sich, wenn der Spülstrom verhältnismäßig hohe Geschwindigkeit erreicht, leicht längs der einbuchtenden Dämme größere Tiefen ausbilden, wie sie die Schiffahrt überhaupt erfordert, und die unter Umständen den Bestand des Bauwerkes gefährden. Schließlich wird bei zu starker Krümmung der Dämme auch ihre etwa notwendige Verlängerung, wozu die unvermeidliche Vorwanderung des Strandes mit der Zeit zwingen kann, äußerst schwierig.

Da die Fahrt in einem von gleichlaufenden Dämmen gebildeten Schlauch von nicht übermäßiger Breite ohnehin nicht ganz ungefährlich ist und zeitweilig sogar unmöglich sein kann, ist vielfach zur Erleichterung der Einfahrt einer der Dämme von vornherein um einige Schiffslängen vor dem andern vorgestreckt worden. Dabei sind indes zumeist die Folgen nicht ausgeblieben, die bereits bei Häfen ohne Spülströme die Anordnung ungleich langer Hafendämme unzweckmäßig erscheinen lassen. Hier kommt aber noch hinzu, daß einerseits eine ungleiche Länge der Dämme für die strahlartige Zusammenfassung des Spülstromes und damit für seine Wirksamkeit stets nachteilig ist. Anderseits entstehen dadurch, daß der Spülstrom hinter dem Ende des kürzeren Dammes nur noch einseitig geführt wird und sich infolgedessen auf der freien Seite ausbreiten kann, hier Ablagerungen, die allmählich die Form einer sich in unmittelbarer Verlängerung des kürzeren Dammes gleichlaufend mit dem anderen hinziehenden Sandbank annehmen. Wenn außerdem die Ausmündung etwa noch der Hauptwindrichtung und der vorherrschenden Küstenströmung zugekehrt liegt, wird diese Bank immer mehr und mehr anwachsen und kann dann unter Umständen eine die Schiffahrt sehr erschwerende Beengung der Einfahrt bedeuten, wenn diese nicht durch einen genügend starken Spülstrom verhindert wird.

8. Die Hafenanlage von Swinemünde. Derartige mißliche Verhältnisse sind tatsächlich bei der Hafenanlage von Swinemünde eingetreten (Abb. 1 Bl. 44). Hier ist die Krümmung der Dämme ganz besonders scharf nach Westen, der Hauptwindrichtung, zugekehrt. Sie wurde sogar derart stark, beinahe gleichlaufend mit der Küste, durchgeführt, daß die Fahrt langer Schiffe zwischen den Dämmen äußerst ungünstig und zuweilen nicht einmal ganz gefahrlos geworden ist. Außerdem ist dadurch eine Verlängerung der Dämme weder in derselben Richtung, noch auch in einer anderen ohne große Schwierigkeiten ausführbar.

Der östliche Damm, die Ostmole, wurde zum Schutze gegen die aus Nordost kommenden Hauptstürme über den anderen hinaus um mehr als 400 m weit und ursprünglich bis ziemlich zur 6 m-Linie vorgestreckt. Infolgedessen traten auch die Sandablagerungen, die durch das Aufhalten der sehr reichlichen Wandersände des vorherrschenden östlich gerichteten Küstenstromes auf der Luvseite hervorgerufen werden, in ganz besonders starkem Maße auf. Der westliche Strand nahm ständig ganz erheblich an Breite zu und ist seit dem Ausbau der Dämme, an der Wurzel der Westmole gemessen, um rd. 600 m weiter vorgerückt, was für jedes Jahr einem Anwachsen von nahezu 6 m entspricht. Die angehäuften starken Sandmassen umwanderten schließlich auch den Kopf der kürzeren Westmole und lagerten sich auf ihrer Binnenseite ab. Dort bildete sich dann eine große breite Sandbank, die Joachimsfläche, aus, die den bisherigen Querschnitt der Hafenstraße fast um die Hälfte verringerte. Der Spülstrom der Swine wurde dadurch längs der Ostmole stark zusammengedrängt und verursachte hier große Tiefen, stellenweise bis mehr als 20 m, die den Bestand des Werkes arg gefährdeten und deshalb durchbaut werden mußten. Auch bis in die jüngste Zeit sind solche bauliche Maßnahmen nötig geworden.

Weiter hatte sich in der Verlängerung der Westmole unter der Einwirkung des Küstenstromes und des gegen ihn auftreffenden ausgehenden Spülstromes eine Sandbank seewärts vorgeschoben, die sich noch weit über den Kopf der Ostmole hinaus erstreckte. Dadurch fiel die Einsegelungslinie fast genau mit der Nord-Süd-Richtung zusammen, was die Einsegelung selbst sehr erschwerte.

Immerhin läßt sich trotz aller dieser Übelstände und der sonstigen Mängel der ganzen Anordnung der Hafendämme auch hier bisher ohne größere Schwierigkeiten durch ständige Baggerungen, die sogar nur ganz wenige Monate dauern, die erforderliche Tiefe des Fahrwassers halten. Dieser Erfolg ist indes nur dadurch möglich, daß der Ausstrom des Stettiner Haffs durch die Swine ganz besonders räumende Kraft besitzt und sogar zeitweilig bis zu $2\,^1/_2$ m/sek. Geschwindigkeit erreicht.

9. Die Hafenanlage von Memel. Ein ganz besonders gutes Beispiel für die großen Nachteile, die die Anwendung ungleich langer, gleichlaufender Hafendämme bringen können, bieten die Molen des Hafens von Memel (Abb. 2 Bl. 45).

Ursprünglich trat der nördliche Leitdamm, die Nordermole, um rd. 700 m vor dem Kopfe des südlichen Dammes vor. Damit sollte erreicht werden, daß der ausgehende Spülstrom nach der Seite der Nordermole zu gedrängt und dadurch in seiner Wirkung verstärkt würde. Auch wurde angenommen, daß er die durch die größere Länge der Nordermole erhaltene Führung auch weiterhin bis zur Barre beibehielte. Vermöge der ihm erteilten größeren Geschwindigkeit und der damit hervorgerufenen Verstärkung seiner lebendigen Kraft wäre er weiter imstande, die sich vor der Mündung niederschlagenden Sinkstoffe aufzulockern und sowohl diese, als auch die in den Hafenschlauch selbst eindringenden Sandmassen mit sich nach See fortzuführen. Hier würden sie alsdann vom Küstenstrome weiterverfrachtet werden oder sich unter seinem Einflusse seitwärts von der Mündung an weniger schädlicher Stelle niederschlagen.

In der Tat ist durch diese Anordnung auch erreicht worden, daß sich jahrelang eine für die damalige Zeit hinreichende Tiefe und Breite der Fahrstraße im Seetief und Seegatt, allerdings unter zeitweiliger Zuhilfenahme von verhältnismäßig kräftigen Baggerungen, ausbildete. Allmählich jedoch traten erhebliche Übelstände ein, deren Ursache in der ungleichen Länge der Dämme gefunden wurde.

Schon bei mäßigen auflandigen Winden machte sich im Hafen eine bisweilen starke Gaiung, an der Ostsee „Sog“ genannt, in nachteiliger Weise bemerkbar. Sie erstreckte sich teilweise bis weit in den innern Hafen hinein und war hier so stark, daß das Lösch- und Ladegeschäft der Schiffe beeinträchtigt, und auch deren Sicherheit selbst gefährdet wurde.

Der Grund hierfür lag in der Hauptsache in der sehr beträchtlichen Breite der Hafenmündung, die zwischen den beiden Molenköpfen gemessen rd. 800 m betrug. Hierzu kam noch, daß die Mündung infolge des weiten Vortretens der Nordermole vor die Südermole gegen Westen offen lag. Von Westen her kommen aber bei Memel die Winde am häufigsten und erzeugen an der dortigen von Süden nach Norden laufenden Küste auch den stärksten Wellenschlag.

Ein weiterer Übelstand zeigte sich in den starken Versandungen der Einfahrtstraße, die gelegentlich heftiger auflandiger Winde und infolge des durch diese hervorgerufenen starken Einstromes in kurzer Zeit sogar um mehrere Meter anwuchsen. Sie nahmen dabei solche Ausdehnung an, daß ihre Beseitigung trotz umfangreicher Baggerungen und trotz der Kraft des dabei zeitweilig sehr starken ausgehenden Stromes stets recht geraume Zeit erforderten. Dadurch wurde der Schiffsverkehr, wenn zwar nicht ganz unterbrochen, so doch für tiefergehende Fahrzeuge sehr erschwert. Beladene Schiffe konnten den Hafen nicht verlassen, und einwollende nicht herein. Sie mußten entweder leichtern oder einen anderen Hafen aufsuchen.

Aus dem unerschöpflichen Sand- und Kiesvorrat, den Vordüne, Strand und Schaar der ganzen preußischen Ostseeküste bieten, werden an der Kurischen Nehrung durch die von den vorherrschenden westlichen Winden herrührende, nach Norden gerichtete Küstenströmung fast unausgesetzt recht erhebliche Sandmassen von Süden her längs des Strandes herbeigeführt. Sie lagerten sich in dem ruhigen Wasser der Bucht vor der Südermole ab, wanderten von hier je nach dem Umfange der Sandansammlungen und der Stärke der Wellenbewegung und Strömung um die Mole herum in die Hafenmündung hinein und bildeten dort eine Barre, die sich vom Südermolenkopfe bis zum Kopfe der Nordermole hin ausbreitete. Bei eingehendem Strom gelangten dann die Massen von hier aus in den Hafen. Sie konnten jedoch hier ohne große Schwierigkeiten durch Eimerbagger beseitigt werden.

Anderseits führte der ausgehende Strom teilweise die Ablagerungen in der Hafenmündung wieder nach der See, wo sie sich entweder in unschädliche Tiefen niederschlugen oder unter Mitwirkung des Küstenstromes ihre Wanderung längs der Küste wieder aufnahmen.

Je nach der Stärke der Durchströmung der Hafenmündung wurde die vom Südermolen- bis nach dem Nordermolenkopfe sich erstreckende Barre in größerer oder geringerer Tiefe und Breite durchbrochen. Es hatte sich so längs der Nordermole, die dem Spülstrom eine feste Führung bot, eine Schiffahrtsrinne gebildet. Der andere Teil der Barre dagegen hatte sich etwas westlicher verschoben. Dadurch war auf der linken Seite der Stromrinne eine Bank entstanden, die sich im Anschluß an die Südermole bis über den Kopf der Nordermole hinaus, also auf 800 bis 1000 m weit, erstreckte. Ihr seeseitiges Ende wendete sich hakenförmig nach Norden, weil dort die Kraft des Küstenstromes die des ausgehenden überwog.

Diese Bank erwies sich als die unmittelbare Ursache der zeitweise starken Verflachung der Einfahrtsstraße. Wenn die Durchströmung gering war, lagerten sich die bei südlichen und westlichen Winden aufgewühlten und in Bewegung gesetzten Sandmassen dieser Bank ungestört in dem tieferen und ruhigeren Wasser der Stromrinne, des Seegatts, ab. Da diese Wanderungen natürlich in der ganzen Länge der Bank erfolgten, so erreichten die Verflachungen eine derart große Länge und Ausdehnung, daß die notwendigen Baggerungen recht umfangreich und langwierig wurden.

Auch für die Schiffahrt erwies sich diese Sandbank höchst gefährlich. So strandete damals während eines starken Sturmes an dieser Stelle ein Segelschiff, das in den Hafen einlaufen wollte und dabei auf diese Sandbank getrieben wurde. Das Schiff ging vollständig verloren, und sein Wrack begünstigte noch lange Zeit die Bildung von Ablagerungen auf der Sandbank.

Eine Verbesserung dieser für den Memeler Hafen und seine Bestandsfähigkeit höchst unzuträglichen und bedenklichen Verhältnisse konnte nur durch eine baldige Beschränkung des Herdes dieser Verflachungen — der Süderbank — erreicht werden. Das einzig hierfür gegebene Mittel war daher die Verringerung der Länge der Süderbank durch eine geeignete Verlängerung und Führung der Südermole in Verbindung mit der Tätigkeit eines leistungsfähigen seetüchtigen Baggers. Man war sich sehr wohl darüber klar, daß eine vollständige Beseitigung der eigentlichen Ursache der Versandung, der starken Sandwanderungen längs der Küste, durch keinerlei bauliche Maßnahmen erreichbar war, daß also die Möglichkeit einer Verflachung der Hafenmündung stets vorhanden bleiben würde.

Daraufhin wurde die Verlängerung der Südermole in Angriff genommen, und so allmählich die Mündung auf etwa 350 m eingeengt, damit der ausgehende Strom mehr strahlartig auf eine bestimmte Stelle der Barre treffen konnte. Diese Maßnahme brachte ganz unerwartet den gewünschten

Erfolg, sogar noch ehe die Mole bis zu der beabsichtigten vollen Höhe des Nordermolenkopfes, d. h. einer durch diesen Kopf senkrecht zur Molenrichtung gedachten Linie, vorgestreckt war. Es trat bereits eine erhebliche Abnagewirkung auf die Verflachungen im Seegatt ein, als erst etwa zwei Drittel der geplanten Verlängerungsstrecke im Unterbau fertiggestellt war. Daher konnte dieser Teil der zur Verbesserung der mißlichen Hafenverhältnisse notwendig gewordenen Arbeiten als abgeschlossen angesehen werden. Auch ein neuer großer Hopperpumpenbagger wurde damals beschafft, damit etwa erforderliche Baggerungen auf der Barre nicht nur, wie vordem, bei ganz ruhiger See ausgeführt zu werden brauchten.

Daß die Verlängerung der Südermole nicht weiter, als wie sie ausgeführt ist, also nicht bis zur eigentlichen Höhe des Nordermolenkopfes, nötig war, läßt sich wohl erklären. Ein Blick auf den Lageplan zeigt, daß die Verbindungslinie der jetzigen beiden Molenköpfe genau gleich mit den Tiefenlinien und dem allgemeinen Küstenstriche verläuft, und daß sie auch mit der Bewegungsrichtung des Küstenstromes zusammenfällt. Bezüglich dieser Linien befinden sich die beiden Molenköpfe, da sie seewärts in der Tat gleich weit reichen, demnach auch für die Einwirkungen von See her in gleicher Höhe.

Die nunmehr eingetretene Verbesserung der Verhältnisse gegenüber der Versandung hatte damit nur die Richtigkeit der Längen beider Dämme zu einander bestätigt. Sehr wahrscheinlich hätte jede weitere Verlängerung der Südermole, namentlich bis auf die beabsichtigte Länge, also über die mit der Küste und den Tiefenlinien gleichlaufende Linie hinaus, nicht die gleiche günstige Wirkung gehabt. Möglicherweise hätten sich im Laufe der Zeit an der Innenseite der dann, von der Wurzel aus gerechnet, um etwa 100 m länger gewordenen südlichen Mole der Schiffahrt schädliche Sandablagerungen gezeigt. Ihre Entstehung wäre dann darauf zurückzuführen gewesen, daß der Spülstrom nach Überschreiten des gegen die mit der Küste gleichen Linie um etwa 200 m zurücktretenden Nordermolenkopfes seine Führung und infolge seiner Ausbreitung auch an räumender Kraft verloren haben würde.

Zu dem hier erzielten guten Erfolge des zusammengehaltenen Spülstromes hat die besonders günstige zur Hauptbewegungsrichtung des Küstenstromes abwärts geneigte Lage der Dämme, besonders die der Südermole, wesentlich beigetragen. Der Spülstrom kann jetzt gleich hinter den Molenköpfen in vorteilhafter Weise die Richtung des durch die Südermole abgelenkten Teiles des Küstenstromes annehmen und dabei unter beiderseitigem verhältnismäßig geringem Verluste an lebendiger Kraft sich mit ihm vereinigen, um so gemeinsam die Ablagerungen auf der Barre anzugreifen.

10. Die Hafenanlage von Pillau. Die eigentliche Veranlassung zu dieser Verlängerung der Memeler Südermole gab damals das günstige Beispiel der an den Seemolen von Pillau durchgeführten verschiedenen erfolgreichen Maßnahmen (Abb. 2 Bl. 44). Sie bestanden darin, daß beide Molen von Anfang an zur Einschränkung der dortigen starken Versandung der Hafeneinfahrt abwechselnd und allmählich immer weiter bis zur gleichen Höhe in die See hinaus vorgestreckt wurden. Ihre jeweiligen Längen hatten sich ständig als unzureichend erwiesen, und Baggerungen allein waren für die immer wieder nötig gewordene Abwehr der umfangreichen Verflachungen nicht mehr ausreichend gewesen. Die näheren Umstände, die zu diesen wichtigen und großen Bauten geführt haben, sind in jeder Beziehung lehrreich. Sie verdienen um so mehr näher erwähnt zu werden, als gerade Pillau mit Recht als gewichtiger Ausgangspunkt des preußischen See- und Molenbaues anzusehen ist, und die dortigen Bauten auch lange Zeit vorbildlich waren.

Der mit „Pillauer Seetief" bezeichnete Eingang von See her zum Frischen Haff entstand im Jahre 1510 durch einen Sturm als gänzlich verwilderter Durchriß durch die Frische Nehrung. Allmählich entwickelte sich diese Verbindung des Haffs mit der See zu einer höchst wichtigen Schiffahrtstraße, nachdem ihre Ufer beiderseits in zweckentsprechender Weise durch Schutzwerke festgelegt waren. Die Stadt Pillau selbst ist erst um 1636 angelegt; sie ging dabei aus Befestigungen hervor, die von den Schweden herrührten.

Bald nachdem sich das Tief gebildet hatte, wurde das ganze nördliche Ufer befestigt. Das südliche blieb noch unbefestigt und veränderte daher durch den Einfluß von Stürmen, Wellenschlag und Strömungen oft seine Gestalt. Erst im Jahre 1767 wurde begonnen, auch das südliche Ufer, oder eigentlich die Spitze bzw. die nordöstliche Ecke der Nehrung, festzulegen. Zu dem Zwecke wurde ein 400 m langer Damm, der an der Haffküste ein Uferdeckwerk bildete, hergestellt. Da der Einfluß, den die Strömung aus dem Haff auf die Tiefe des Tiefs ausübte, bekannt war, wurde dieser Befestigung zur Verstärkung der vorhandenen Strömung eine der See und dem nördlichen Ufer sich nähernde nordwestlich laufende Richtung gegeben. Der Damm ging ein Stück in die See hinaus und hieß „Südermole".

Infolge ihrer geringen schrägen Lage zur Küstenlinie trat jedoch alsbald eine starke Versandung an der Seeseite ein und veranlaßte hier ein schnelles Vorrücken des Seestrandes, so daß die Mole immer wieder streckenweise verlängert werden mußte. Im Jahre 1830 war die Mole bereits 500 m lang, und die Breite des Tiefs zwischen den damaligen Molenköpfen betrug 440 m. Die dadurch erzielte Spülkraft der Strömung genügte erfahrungsmäßig für die damaligen Verhältnisse, das Tief in dieser Breite gehörig zu räumen und ausreichend tief zu erhalten. Daher wurde bei den weiteren Verlängerungen, die wegen der fortschreitenden und ständig zunehmenden Verlandungen nötig waren, nunmehr die dem nördlichen Ufer sich nähernde Richtung verlassen, und die Südermole in den Jahren 1830 bis 1836 gleichlaufend mit diesem Ufer weiter in die See hinausgeführt.

Inzwischen hatte sich der Einfluß des zeitweise auch von Norden her wirkenden Küstenstromes ungünstig bemerkbar gemacht. Deshalb wurde nötig, den vom nördlichen Strande antreibenden Sand vom Tief abzuhalten. So entstand 1839 der Entwurf für die Nordermole. Ihre Herstellung erfolgte 1840 bis 1843 derart, daß sie gleichlaufend zur Südermole in einer Länge von rd. 1000 m aufgeführt wurde. Hiervon gingen aber gleich in den nächsten Jahren die letzten rd. 150 m durch Sturm und Wellenschlag wieder verloren, weshalb später im Jahre 1855 etwa 100 m rückwärts von dem 1843 gebauten Kopfe ein neuer Kopf hergestellt wurde.

In derselben Zeit — 1840 bis 1843 — mußte auch die Südermole wieder verlängert werden, damit der Strom im Tief die erforderliche Führung beibehielt. Dabei wurde

festgestellt, daß sich vor dem Kopfe dieser bis 1836 hergestellten Molenstrecke eine sehr bedeutende Tiefe gebildet hatte. Ihr Entstehen war durch die Einwirkung des längs der Nehrung vorbeistreichenden nach Norden gerichteten harten Küstenstromes verursacht. Ein Durchführen der Mole durch diesen Kolk hätte hohe Kosten gefordert. Deshalb wurde die bisherige gerade Richtung verlassen und die Tiefe rechtwinklig umgangen. Danach erhielt die Mole wieder allmählich ihre ursprüngliche geradlinige Richtung, wurde aber so bis 1843 nur um insgesamt rd. 350 m verlängert, so daß die Nordermole mehr als 500 m über sie hinaustrat. Durch dieses Umgehen des Kolks, das die höchst eigenartige und merkwürdige Linienführung der Südermole erklärt, entstand jedoch eine Ausbuchtung im Seetief, die später auf die Strömungsverhältnisse recht ungünstig einwirkte. Sie wurde erst viele Jahre danach durch einen in der allgemeinen Richtung der Mole angeordneten Damm abgeschlossen, um die durch diese Bucht hervorgerufene große Unregelmäßigkeit im Querschnitt des Tiefs zu beseitigen und dem Spülstrom eine bessere Führung zu geben. Die Verlängerungsbauten an beiden Molen erfüllten insofern durchaus ihren Zweck, als sich die Tiefe zwischen ihnen sehr bald vergrößerte. Daher konnten sich die weiteren Bauten einstweilen vorzugsweise auf die Erhaltung der Dämme beschränken.

Inzwischen erfolgte 1853 der Abschluß der Nogat, des Hauptzuflusses des Frischen Haffs, an der Martauer Spitze, sowie die Eröffnung des Pickler Kanals. Während bis dahin zwei Drittel der ungeteilten Weichsel durch die Nogat ins Frische Haff floß, wurde dadurch diese Wassermenge um die Hälfte verringert. Damit trat auch eine wesentliche Verminderung der Ausströmung durch das Pillauer Tief ein und hatte zur Folge, daß sich neben dem Nehrungsufer und der Südermole eine Sandbank bildete. Diese nahm ständig an Ausdehnung zu und verkleinerte nach und nach den geschlossenen Querschnitt des Tiefs um ein Siebentel bis ein Achtel seiner früheren Größe. Allmählich setzten sich die Verflachungen sogar noch weiter seewärts fort und bildeten vor der Einfahrt in das Tief eine mächtige Barre. Zwar ließ sich die damals für die Schiffahrt erforderliche Tiefe im Seetief selbst noch durch Baggerungen erhalten. Indes wurde der Verlust an ausgehender Strömung für das Seegatt immer bedenklicher, weil in der offenen See nur bei gutem Wetter und ganz ruhigem Wasser gebaggert werden konnte.

Auch der an die Südermole anschließende Strand war immer weiter vorgerückt und hatte hier die Tiefenlinien bereits bis zum Kopfe der Mole vorgeschoben, so daß dadurch die Bildung der Barre wesentlich beeinflußt wurde. Nicht zuletzt aber gaben die ohnehin starken Unregelmäßigkeiten, die die Ufer des Seetiefs und die Molen selbst in ihrer Gestalt und in ihrem Verlauf aufweisen, ständige Veranlassung zu entsprechenden Unregelmäßigkeiten in der Führung des ein- und ausgehenden Stromes und damit zugleich zu ungleichmäßigen Versandungen im ganzen Stromschlauche. Sie beeinträchtigten das Fahrwasser für die Schiffahrt sehr ungünstig. Besonders rief in dieser Beziehung der Verlauf der ausgehenden Strömung, die am nördlichen Ufer entlang ging, eine höchst schädliche Wirkung hervor, insofern, als sie die ihr auf der Strecke von der Stadt an zugewiesene Richtung nach der Südermole hin beibehielt und so das Tief schräg bis zum damaligen Kopfe der Südermole durchschnitt. Hier stieß sie unmittelbar auf den sehr lebhaften Küstenstrom, was naturgemäß einen starken Niederschlag der Sinkstoffe zur Folge hatte und erheblich zur Vergrößerung der Barre vor der Einfahrt beitrug.

Daher mußte dafür gesorgt werden, daß die Tiefe in der Fahrrinne nicht gänzlich verloren ging. Diese Absicht war nur zu erreichen, wenn der ausgehende Strom gehörig zusammengehalten und namentlich für die Spülung des Seegatts in möglichst vollkommener Weise nutzbar gemacht wurde. Der Strömung mußte zu diesem Zweck durch die Molen eine ganz bestimmte Richtung angewiesen werden, damit sie stets auf eine und dieselbe Stelle des Seegatts treffen und hier eine tiefe Rinne offenhalten konnte.

Alle diese Vorkommnisse, die sich z. T. später an den Molen von Memel wiederholten und auch dort für die weiteren Bauten ausschlaggebend waren, ergaben vor allem die unbedingte Notwendigkeit zur nochmaligen Verlängerung der Südermole. Sie wurde geradlinig weitergeführt, bis sie schließlich die gleiche Höhe erreichte, wie sie die Nordermole erhalten sollte. Auch diese mußte noch um eine weitere Strecke nach See zu vorgestreckt werden, namentlich um das Stück, was sie in den Jahren 1843 bis 1855 an Länge verloren hatte. Dabei wurde ihr in der Absicht, die Strömung noch sicherer und stets auf eine bestimmte Stelle im Seegatt zu leiten, eine geringe Krümmung nach Westen gegeben.

In dieser Linienführung erreichten dann beide Molen in den siebenziger Jahren nach und nach die Länge, die sie jetzt haben, liefen aber damals auf nur 6 m Wassertiefe aus. Die lichte Entfernung ihrer dann im Jahre 1880/81 ausgeführten Köpfe war dabei auf rd. 360 m verringert. Dieses Maß entsprach der zuvor angestellten Überlegung, daß der benetzte Querschnitt des Tiefs in der Öffnung bei einer auf 8 m festgesetzten durchschnittlichen Wassertiefe dieselbe Größe haben sollte, wie zur Zeit der Verlängerungsbauten der kleinste Querschnitt im Tief zwischen den Ufern aufwies.

In der Tat war durch alle diese Maßnahmen eine stetige Führung des ausgehenden Stromes erreicht, und auch seine Austrittsgeschwindigkeit wesentlich erhöht worden. Nunmehr traf der Spülstrom stets auf ein und dieselbe Stelle der Sandbarre und durchbrach diese. Er behielt dann seine räumende Kraft und seine Geschwindigkeit weiter noch so lange bei, bis er in unschädliche Tiefen gelangte und dort seine Schwebeteile absetzte, soweit sie nicht von der Küstenströmung erfaßt und mit fortgeführt wurden.

Indes war schon damals damit gerechnet worden, daß die mehrfach ungünstig gebrochene Linie des nördlichen Ufers später wiederum Veranlassung zu weiteren Unregelmäßigkeiten in der Verflachung des Tiefs und Gatts geben würde. Für diese Fälle wurde eine erfolgreiche Abhilfe und Besserung der Verhältnisse nur in einer Beseitigung der schädlichen Krümmungen, sowie in einer weiteren Beschränkung der Mündung gesehen. Diese Vermutungen haben sich tatsächlich im Laufe der Zeit im großen und ganzen bestätigt. Immerhin aber war der erzielte Erfolg der Verlängerungsbauten bez. der Verhältnisse im Seetief und Seegatt doch einigermaßen befriedigend. Es läßt sich seitdem unter ständiger Zuhilfenahme regelmäßiger Baggerungen, die sich im Seegatt und Seetief zusammen im Jahre auf die Beseitigung von durch-

schnittlich über 200000 cbm erstrecken, die für die Schiffahrt erforderliche Tiefe von 9 bis 10 m aufrecht erhalten.

Dagegen war die Wirkung, die die Verlängerungsbauten auf den anschließenden Strand, namentlich südlich der Südermole ausübten, durchaus nicht so günstig, wie es zuerst den Anschein hatte. Während bis zum Jahre 1843 dieser Strand durch Ansandung beständig in schneller und starker Weise zunahm und so die Tiefenlinie nach der See zu vorschob, hörte gleich nach der letzten Verlängerung der Südermole, die über 700 m betrug, dieses Anwachsen und Vorwandern des Strandes auf. Es trat hier umgekehrt bald ein allgemeines Abbröckeln des Strandes ein, was sich mit der Zeit in einen regelrechten und ständigen Abbruch des Vorstrandes und selbst der Dünenberge verwandelte. Zum Schutze des Ufers wurden daher eine große Anzahl einfacher Pfahlbuhnen angelegt, die jedoch mit der Zeit in gänzlichen Verfall gerieten und jetzt kaum noch wahrnehmbar sind. Ohnehin vermochte die Buhnenanlage den fortwährenden Abbruch an Strand nicht wirksam zu verhindern, da sie wohl nicht zweckmäßig genug angeordnet, und die Buhnen selbst auch nicht fest genug ausgeführt waren. Seitdem beschränken sich die Sicherungsmaßnahmen gegen den ständigen Verlust des Strandes nur auf den planmäßigen Schutz der Dünenberge, gegen die zeitweise die Wellen hoch anlaufen und an dem sie dann heftig wühlen und Schaden anrichten.

Am nördlichen Strande hat die Verlängerung der Molen die hier schon zuvor vorhanden gewesene Ansandung sehr erheblich vermehrt, so daß der Strand an Breite außerordentlich zunahm. Hier zeigt sich mit besonderer Deutlichkeit die Wechselwirkung zwischen Abbruch auf der einen und Ansammlung auf der andern Seite, wenn der Gleichgewichtszustand an einer Küste durch Einbauten vor dem Strande gestört ist. Bei der Lage der Nordermole gegen den auch zeitweise von Norden her wirkenden Küstenstrom ist ihre sandfangende Wirkung durchaus erklärlich. Die Mole ragt heute noch über 500 m weit in die See und damit in den beweglichen Küstenstrom hinein. Naturgemäß wechselt die Breite des Strandes und die Größe der Ansandung je nach der Richtung der Küstenströmung. Auch jetzt noch gelangen vom nördlichen Strande Sandmassen ins Seegatt und Seetief, ebenso wie es damals der Fall war, als die letzte Verlängerung der Nordermole notwendig wurde.

Bisher haben die gesamten jährlichen Sandablagerungen zu Zeiten stärkster Verflachung für das Seetief rd. 220000 cbm und für das Seegatt rd. 80000 cbm betragen. Gelegentlich heftiger auflandiger Winde und infolge des durch diese hervorgerufenen starken Einstromes können jedoch erfahrungsgemäß die gefährlichsten plötzlichen Versandungen sogar eine Stärke von 2,5 m erreichen. Tatsächlich sind auch schon Versandungen von insgesamt rd. 400000 cbm festgestellt worden.

In Pillau sind die natürlichen Verhältnisse für Offenhaltung eines Hafens nicht entfernt so günstig wie in Memel, wo der Ausstrom des Kurischen Haffs weit anhaltender und und kräftiger ist, als hier der des Frischen Haffs. Deshalb muß nach dem 1914 beendeten völligen hochwasserfreien Abschlusse der Nogat, die namentlich im Frühjahr durch ihr Hochwasser bisher die Selbsträumung des Seetiefs wesentlich unterstützte, mit erheblich mehr künstlicher Räumung gerechnet werden. Jetzt steht zur natürlichen Spülung des Tiefs nur noch der Rückstrom der bei auflandigen Winden ins Haff hineingetriebenen Wassermengen zur Verfügung, der aber bei weitem nicht ausreicht. Der Beitrag, den die Auswässerung des Pregels leistet, spielt hierbei gar keine Rolle. Infolgedessen wurde zur Ausführung der erforderlichen Mehrbaggerungen, mit denen unbedingt zu rechnen ist, bereits 1914 ein besonderer, ganz neuzeitlicher, großer, vereinigter Sauge- und Eimerschachtbagger mit einer stündlichen Leistung von 500 cbm und einer Ladefähigkeit von 1000 cbm beschafft. Mit ihm soll zunächst eine allgemeine Vertiefung der Fahrrinne im Seetief auf 11 m hergestellt werden, die mit der zur Zeit in der Ausführung begriffenen Vertiefung und Verbreiterung des Königsberger Seekanals zusammenhängt.

Die allgemeine Anordnung der Pillauer Molen ist durchaus nicht etwa als günstig zu bezeichnen. Ihre Neigung zur Küstenlinie ist viel zu gering, als daß die Mitwirkung des Küstenstromes auf die Beseitigung der Ablagerungen vor der Mündung in besonders kräftigem Maße zur Geltung kommt. Daher wird für die Offenhaltung der Einfahrt die Zuhilfenahme planmäßiger und ständiger Baggerungen niemals entbehrt werden können. Zwar wird infolge der durch die geringe Ausbiegung der Nordermole nach Westen entstandenen Einengung der Mündung der Spülstrom kurz vor seinem Austritt aus dem Seetief noch besonders wirksam zusammengedrängt und in günstiger Weise verstärkt. Er erhält auch durch diese Linienführung der Nordermole eine ganz bestimmte Richtung und greift so stets die gleiche Stelle der Barre an. Jedoch trifft der Strom dadurch nahezu senkrecht auf die vor Pillau zeitweilig sehr starke, bis zu 2 m/sek. gemessene Küstenströmung, was naturgemäß große Geschwindigkeitsverluste und dementsprechend stärkere Ablagerungen zur Folge hat.

Anderseits halten die Molen die vorherrschenden starken westlichen Winde wohl einigermaßen von der Hafenmündung ab. Die Richtung der Einfahrt fällt indes mit der Richtung der stärksten Stürme zusammen, die infolge ihrer großen Streichlänge stets einen besonders hohen Seegang im Seegatt hervorrufen. Dann steht über der Barre vor der Mündung eine sehr starke Brandung, so daß sogar zeitweilig das Einlaufen in die Mündung ganz unmöglich ist. Ein weiterer großer Mangel der Anordnung der Molen liegt ferner darin, daß sie ihrer ganzen Länge nach gerade mit der Richtung der besonders häufigen und auch schweren nordwestlichen Winde zusammenfallen. Infolgedessen pflanzen sich die in die Einfahrt eintretenden Wellen fast ungeschwächt durch das ganze Seetief bis in die Mündung des Vorhafens hinein. Hier laufen sie weiter gegen den südlichen Vorhafendamm an und werden von dessen senkrechten Wänden durch den unteren Teil des Vorhafens hindurch sogar bis nach dem staatlichen Bauhafen zurückgeworfen (Abb. 2 Bl. 44). Sie erzeugen dabei im ganzen Vorhafen für die hier namentlich vor Anker liegenden Seegelschiffe recht unbequeme Schwellung. Diese hat im Jahre 1884 auch dazu geführt, daß zum Schutze der Fahrzeuge im staatlichen Bauhafen ein Schutzdamm gegen diese zurückschlagenden Wellen hergestellt wurde. Damit ist der Bauhafen gegen den Vorhafen abgeschlossen worden.

11. Andere Anlagen gleichlaufender Hafendämme an der deutschen Ostseeküste. Diese damals allgemein angewendete Anordnung langer nahezu gleichlaufender Dämme

war zumeist aus dem Bestreben entstanden, den zur Verfügung stehenden Spülstrom zur Offenhaltung der Hafenstraße wirksam zu verwenden. Auf die Tätigkeit des Küstenstromes wurde dabei weniger geachtet. Deshalb wiederholt sich die gleiche Art auch bei den andern Ostseehäfen in Kolberg, Stolpmünde und Neufahrwasser, wo gleichfalls Binnengewässer in die See einmünden. Infolgedessen zeigen diese Hafenanlagen auch dieselben Mängel und üben auf die Bildung von Barren vor ihren Mündungen, sowie auf die Verflachung ihrer Einfahrten die gleichen Wirkungen aus, wie in Pillau und Memel. Wie dort führten auch bei ihnen die andauernden Mißerfolge bei der Bekämpfung der Versandung, die durch die Wandersände des Küstenstromes bisweilen in hohem Maße auftrat, schließlich dazu, die Dämme nach und nach abschnittsweise immer weiter nach See hinaus bis zu ihrer jetzigen Lage zu verlängern. Trotzdem können auch jetzt nirgends die nötigen Tiefen für die Schiffahrt in und vor den Einfahrten ohne mehr oder weniger umfangreiche Baggerungen mit dauerndem Erfolge gehalten werden.

Mit Ausnahme von Stolpmünde wurde überall der Abstand der Dämme so bemessen, daß der benetzte Querschnitt zwischen ihnen dem des ausmündenden Flusses, dessen Spülkraft ausgenutzt werden soll, entspricht.

11a). Die Hafenanlage von Kolberg (Abb. 3 Bl. 45). In Kolberg verlaufen ebenso, wie in Swinemünde, die beiden Hafendämme in leichter Krümmung nach Westen hin, einmal, um dem ausgehenden Strom der Persante eine sichere Führung zu geben und anderseits in der Absicht, für die Einfahrt Schutz gegen die zuweilen auftretenden starken Nordoststürme zu erhalten. Aus diesem Grunde wurde außerdem noch der östliche Damm um 60 m über den Westmolenkopf hinausgeführt. Durch diese Anordnung ist die Einfahrt jedoch gerade den hier vorherrschenden westlichen Winden entgegengerichtet. Allerdings wird der von den Nordoststürmen verursachte, höchst unangenehme Seegang vor der Mündung etwas gemildert, so daß das Ein- und Auslaufen der Schiffe günstiger geworden ist. Indes ist immerhin ein Zusammenfallen der Richtung der Einfahrt mit der der herrschenden Winde für die Schiffahrt in hohem Maße unzweckmäßig. Es ist sogar gefährlich, wenn, wie hier bei gleichlaufenden Dämmen, die eingehenden Schiffe, namentlich die Segelschiffe, hinter der Mündung nicht den nötigen Raum finden, um eine geringere Geschwindigkeit zu erlangen oder gegen den Wind wenden zu können. Daher muß allgemein zugunsten der Schiffahrt die Einfahrtsrichtung einen zum Ein- und Aussegeln genügenden Winkel von mindestens 65° bis 70° haben. Anderseits bildet die gegen den westlichen Küstenstrom gerichtete Abbiegung der Leitdämme ein besonders großes Hemmnis für die Wandersände, die von Westen kommen. Diese werden in der Breite, bis zu der die Dämme in den beweglichen Küstensaum hineinragen, nahezu vollständig aufgefangen und am Weiterwandern gehindert, so daß sie hier eine sehr starke Versandung und ein schnelles Vorschieben des Strandes verursachen. Dadurch ist der Gleichgewichtszustand der Küste gestört, und die zur Erhaltung des Strandes auf der Ostseite nötige Sandzufuhr naturgemäß beeinträchtigt. Die Folgen zeigen sich am Abbruch der Küste auf der Ostseite des Hafens, da der westliche Küstenstrom bei weitem überwiegt.

Jedoch ist das Abbröckeln des Strandes, das erst etwa in einer Entfernung von über 1/2 Kilometer östlich der Ostmole, also jenseit der im Wellenschatten der Mole liegenden Strandstrecke, einsetzte, nicht weiter bedeutend. Diese Erscheinung erklärt sich aus der Lage der Küstenstrecke zu den vorherrschenden Bewegungskräften. Der Küstenstrich von Kolberg verläuft annähernd genau von WSW nach ONO. Die westlichen, d. h. die aus südwestlicher bis nordwestlicher Richtung kommenden Winde herrschen nicht nur vor, sondern sind auch stärker, als die östlichen. Die Hauptwindrichtung ist genau westlich. Infolgedessen ist auch die Küstenströmung und dementsprechend namentlich die Sandwanderung vor Kolberg besonders lebhaft, wie auch aus Text-Abb. 21 ersichtlich ist.

Obwohl zwar durch die Hafendämme sehr erhebliche Sandmassen im Westen aufgehalten werden, bleiben doch bei der gegenüber der Länge der Dämme weit größeren Breite des beweglichen Küstensaumes immerhin noch recht beträchtliche Mengen an Sinkstoffen in ungehinderter Bewegung um die Hafenanlage herum nach Osten. Teile von ihnen kommen am Oststrande zur Anlandung und gleichen den Abbruch dort aus, so daß er verhältnismäßig erträglich ist. Dennoch sind der Sicherheit wegen östlich der Badeanstalten auf Veranlassung und Kosten der Stadt Kolberg auf eine Länge von etwa 2 km Buhnen zur Festlegung des Strandes hergestellt worden. Auch werden, um den Sandzufluß noch künstlich zu steigern, von der Hafenbauverwaltung sämtliche beim Baggern in der Schiffahrtsrinne gewonnenen, nicht unerheblichen Bodenmassen vor dem Oststrande möglichst nahe dem Ufer verschüttet und dadurch dieser gegenüber der westlichen Seite sandärmeren Strandstrecke zugeführt.

Tatsächlich sind mit diesen Maßnahmen derartig günstige Erfolge erreicht worden, daß der weitere Uferabbruch zu einem gewissen Stillstand gebracht worden ist, und daß sich sogar hier allmählich geringe Ablagerungen gebildet haben.

Ein weiterer Übelstand der Anordnung der Hafenanlage besteht darin, daß infolge der Krümmung der Dämme nach Westen der Ausstrom der Persante senkrecht auf den Küstenstrom auftritt. Naturgemäß ist bei diesem Zusammenstoße der Wassermassen der Niederschlag an Sinkstoffen besonders groß, wodurch die Verflachung vor der Mündung sehr wesentlich befördert wird.

Wenn sich trotz alledem ein einigermaßen befriedigender Zustand ergeben hat, so ist er in erster Linie auf die ziemlich bedeutende räumende Kraft der Persante zurückzuführen. Im Verein mit planmäßigen und zeitweise, wenn nach stärkeren Stürmen die Verflachungen erheblich zugenommen haben, kräftigeren Baggerungen wird eine Tiefe von rd. 5 m in der Einfahrtsrinne einigermaßen sicher erhalten.

Ohne Zweifel würden die gesamten Hafenverhältnisse wesentlich bessere sein, wenn die Westmole nicht parallel zur Ostmole, sondern ähnlich, wie die Westmole in Rügenwaldermünde, schräg auf sie zulaufend und in bogenförmiger Krümmung angeordnet wäre, wie auf Abb. 3 Bl. 45 angedeutet ist. Dadurch würde auch zugleich der lange und enge, der Schiffahrt höchst unbequeme Hafenschlauch vermieden worden sein. Ein kurzer, dritter, innerer Leitdamm hätte weiter zur Führung der Persante völlig genügt.

11b). Die Hafenanlage von Stolpmünde (Abb. 1 Bl. 45). Etwas abweichend von den bisher angeführten Anordnungen ist die Lage der beiden gleichlaufenden Dämme in Stolpmünde. Sie haben einen großen Abstand voneinander erhalten, so daß hierdurch ein sehr breiter und geräumiger Vorhafen gebildet wird. Bei der letzten Verlängerung der Molen wurde die westliche am Ende etwas nach Osten gekrümmt, und damit die Einfahrt fast wieder auf die gleiche Enge gebracht, die sie zwischen den Molenköpfen des in den Jahren 1870 bis 1880 ausgebauten Zustandes hatte. Zum Teil geschah diese Anordnung in der Absicht, den Eintritt starken Seeganges in den inneren Hafen zu verhindern. Sie ist indes damit nicht ganz erreicht worden. Vielleicht wäre besser das abgebogene Ende der alten Westmole, das in das Vorhafenbecken hineinragt, nicht beseitigt und durch einen hölzernen Leitdamm ersetzt worden. Dagegen ist durch das Zusammenlaufen der Molen einigermaßen gelungen, den ausgehenden Strom des Stolpeflusses kurz vor seinem Austritt in die See wirksam zusammenzufassen. Im ganzen leidet aber die Anordnung der Molen an dem großen Mangel, daß der immerhin recht kräftige Spülstrom der Stolpe nicht genug ausgenutzt ist. Das verhältnismäßig breite Becken des Vorhafens stellt für den ziemlich schmalen Fluß eine höchst ungünstige und ganz erhebliche plötzliche Querschnittverbreiterung dar. Dadurch wird seine Geschwindigkeit stark verringert und damit seine räumende Kraft bedeutend abgeschwächt. Die einseitige Führung längs der Ostmole genügt nicht, den Spülstrom ohne Verlust an Stärke durch den Vorhafen hindurch auf die Barre wirken zu lassen. Ebensowenig vermag die an sich ganz vorteilhafte Zusammenschnürung des Stromes vor seiner Ausmündung die verminderte lebendige Kraft wieder auf ihre volle ursprüngliche Größe zu bringen.

Infolge aller dieser Umstände müssen auch hier unbedingt dauernde und umfangreiche Baggerungen stattfinden, um die an sich geringe erforderliche Tiefe von rd. 5 m zu erhalten. Zu dem Zwecke wurde bereits im Anschluß an die letzte Verlängerung ein großer, leistungsfähiger Hopperpumpenbagger beschafft. Es wurde damit gerechnet, daß sich die Verhältnisse ohne Zuhilfenahme eines solchen Baggers vermutlich wieder ebenso schlecht stellen würden, wie sie vor dem endgültigen Ausbau der Molen waren. Seitdem ist ein befriedigender Gleichgewichtszustand eingetreten.

11c). Die Hafenanlage von Neufahrwasser (Abb. 5 Bl. 45). Wesentlich günstiger sind die natürlichen Verhältnisse beim Auftreten der für Häfen an sandigen Küsten schädlichen Naturwirkungen bei der Anlage der Hafendämme von Neufahrwasser. Hier liegt die ganze Küste in der Nähe der Dämme unter dem unmittelbaren Schutze der langgestreckten Halbinsel Hela, die infolge ihrer östlichen Richtung den gleichfalls von West nach Ost streichenden Hauptküstenstrom weit über die Ausmündungen der Weichsel und über die sich ihnen zunächst anschließende Küstenstrecke hinaus leitet. Er trifft deshalb sehr viel später auf das Ufer, und zwar auf den Strand der Frischen Nehrung, und kann sich infolgedessen an der durch die Hafendämme festgelegten Ausmündung der sogenannten „Toten Weichsel“ noch nicht bemerkbar machen. Da außerdem nach Verlegung der Weichselmündung der jetzt mit „Hafenkanal“ bezeichnete Weichselarm keine nennenswerten Sinkstoffe mehr führt, ist die Sandbewegung vor Neufahrwasser ganz verschwindend klein, sowohl in östlicher als in westlicher Richtung. Die Wirkung, die hier die Hafendämme als Einbauten auf diese geringe Tätigkeit der Sandvertriftung ausüben, ist deshalb auch ganz schwach. Es gelingt unschwer, die eintretenden geringfügigen Sandablagerungen durch gelegentliche, leichte Baggerungen und ohne weiteres zur Sicherstellung der völligen Tiefen zu beseitigen.

12. Schräg gegeneinander gerichtete Hafendämme. Die vorstehenden Beispiele zeigen zur Genüge, daß gleichlaufende Hafendämme auch bei noch so günstiger Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Spülströme tatsächlich die von der See her wirkende Versandung gerade des wichtigsten Teiles der ganzen Anlage, der Hafeneinfahrt, nicht in ausreichendem Maße verhindern können. Dieser Mangel ist allein durch die ungünstige Lage der Dämme zur Bewegung der Wandersände gegeben. Deshalb läßt in dieser Beziehung gemäß der Betrachtung auf Seite 748 die Anordnung zweier nach außen bogenförmig gekrümmter und schräg gegeneinander gerichteter Dämme erheblich mehr Erfolg versprechen. Aber es muß dabei auch genügende Rücksicht auf den Spülstrom genommen werden, um die Bekämpfung der Barrenbildung noch wirksamer zu gestalten. Zu diesem Zwecke ist der Spülstrom so durch das von den Dämmen gebildete Hafenbecken hindurchzuleiten, daß er auf diesem Wege möglichst wenig von seiner lebendigen Kraft verliert. Das wäre am sichersten zu erreichen, wenn der Strom innerhalb des Hafenbeckens zwischen zwei besonderen gleichlaufenden Dämmen möglichst bis zur Hafenmündung geführt würde. Indes verbietet sich eine solche Anlage schon deshalb, weil dann das Hafenbecken von den Schiffen nicht mehr als Ankerplatz benutzt werden könnte. Infolgedessen müssen die beiden inneren Leitdämme eine entsprechend geringe Länge erhalten. Dabei geht allerdings dem Spülstrom auf seinem Wege durch den größten Teil des Hafenbeckens hindurch bis zur Hafenmündung die feste seitliche Führung verloren. Es ist dann unbedingt auf dieser Strecke mit einer gewissen Verflachung des Strombettes zu rechnen, die auch die Spülkraft beeinträchtigen muß. Deshalb ist in dieser Beziehung die Lösung günstiger, die sich auf nur einen solchen inneren Leitdamm beschränkt, und den Spülstrom auf der anderen Seite an einem der äußeren Hafendämme entlang gleiten läßt. In diesem Falle würde der Spülstrom bis zu seinem Austritte aus dem Hafen wenigstens einseitig geführt sein. Am zweckmäßigsten wird hierzu der Damm gewählt, der nach der Seite der vorherrschenden Küstenversetzung und -strömung liegt. Da dieser an seinem Seende zur glatten Umleitung des Küstenstromes nahezu gleichlaufend zur Küstenlinie umgebogen sein soll, würde der Spülstrom bei seinem Austritt unter besonders günstigem spitzen Winkel auf den Küstenstrom auftreffen und dabei die Barrenbildung vor der Einfahrt auf ein Geringstmaß bringen (Text-Abb. 34). Mit Rücksicht darauf empfiehlt sich nicht, den leeseitigen Damm zur Führung des Spülstromes zu verwenden. Da er sich an seinem Ende gegen die Bewegung der Wandersände umbiegt, leitet er den Spülstrom fast unmittelbar der Küstenströmung entgegen und begünstigt durch diesen Zusammenstoß den Niederschlag der Sinkstoffe

gerade dort, wo sich sein Auftreten für die Schiffahrt ganz besonders schädlich erweist.

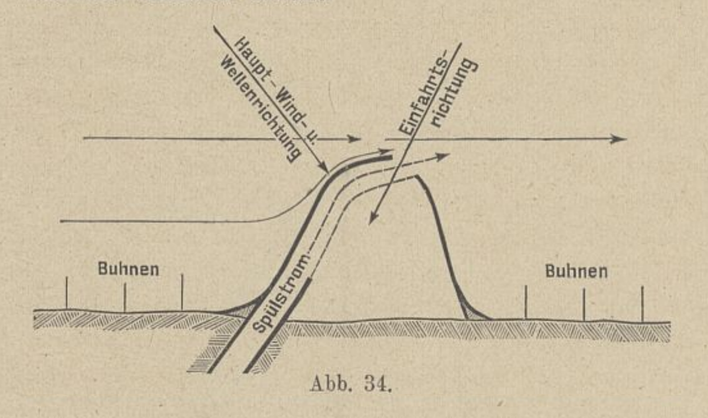


Abb. 34.

13. Die Hafenanlage von Rügenwaldermünde (Abb. 4 Bl. 45). In der Ostsee sind zwei Hafenanlagen vorhanden, die nach vorstehenden Gesichtspunkten ausgeführt sind, Rügenwaldermünde und Windau. Die Anordnung der Hafendämme in Rügenwaldermünde ist insofern von Bedeutung, als bei ihr das einzige Mal an der deutschen Küste im völligen Gegensatz zu den gleichfalls in den siebenziger Jahren entstandenen anderen deutschen Ostseehäfen auf die sachgemäße Bekämpfung des Einflusses der Küstenversetzung und des Küstenstromes auf einen Einbau vor dem Strande die erforderliche Rücksicht genommen worden ist.

Unter günstigster Anpassung an die örtlichen Verhältnisse wurde der westliche Hafendamm abwärts zur Richtung des vorherrschenden östlichen Küstenstromes und damit zum Ufer geneigt, sowie nach außen hin bogenförmig angelegt. Der andere Damm sollte in Verlängerung der alten östlichen Ufereinfassung der Wipper zur Leitung des Spülstromes dieses Flusses dienen und erhielt deshalb nur eine ganz schwache Krümmung in entgegengesetzter Richtung. Damit der Spülstrom auch auf der westlichen Seite eine gewisse Führung erhielt und sich nicht zu weit im Vorhafenbecken ausbreiten konnte, wurde noch der aus den ersten Anfängen der Hafenanlage herrührende gleichlaufende westliche Leitdamm beibehalten. Er erstreckt sich über 100 m weit in das Vorhafenbecken hinein und erteilt dem Strom der Wipper, nachdem dieser an ihm entlang geglitten ist, eine Richtung, durch die er an den östlichen Hafendamm heranpreßt und dann von diesem weiter geleitet wird. Die, wenn auch geringe Krümmung des Dammes vor seinem Seende schnürt dann den Strom noch etwas günstig zusammen, so daß er die Hafenmündung mit hinreichender Geschwindigkeit verläßt und tatsächlich eine wirksame Räumung und Offenhaltung der Mündung, sowie der Reede ausübt.

Der besondere Vorzug der Hafenanlage liegt vor allem in der geschickten Linienführung der Westmole. Indem diese in schlanker, nach außen bogenförmiger Kurve mit dem Hauptküstenstrom geneigt verläuft, werden die Wandersände aus ihrer Bewegung längs des Ufers sanft nach See zu abgelenkt. Sie erhalten dabei durch die Mole eine zwangsläufige Führung und gleiten, ohne ein Hindernis zu finden, an ihr entlang und dann weiter an der Hafenmündung vorbei. Aus dem Verlaufe der Tiefenlinien in Abb. 4 Bl. 45 ist die glatte Fahrt des vorherrschenden Küstenstroms um die Hafenanlage herum gut erkennbar. Auch ist zu sehen, daß schädliche Verflachungen vor der Mündung nicht vorhanden sind, und daß der Zusammenstoß der Küstenströmung mit dem Spülstrome der Wipper gleichfalls keinerlei bemerkenswerte Ablagerungen verursacht.

Ebenso ist die Ansandung auf der westlichen Seite des Hafens im Vergleich zu der gleichen Erscheinung bei der Mehrzahl der andern Ostseehäfen unerheblich. Dagegen begann auf der östlichen Seite wenige hundert Meter von der Ostmole ab ein auffallend starker Abbruch einzutreten, der sich allmählich zu einer größeren Ausbuchtung des Strandes ausbildete.

Die Küste vor Rügenwaldermünde, von der Höhe des Jasmunder Sees ab bis Jershöft, streicht ungefähr von SSW nach NNO. Daher treffen die Wellen der Hauptwindrichtung, d. i. W bis etwa WSW, infolge ihres allmählichen Einschwenkens nahezu senkrecht auf den Strand auf und laufen in beinahe gleicher Richtung wieder in die See zurück. Noch mehr ist solches der Fall bei Stürmen aus dem nordwestlichen Quadranten, die an dieser Küstenstrecke an zweiter Stelle überwiegen. Dadurch ist hier die örtliche Strandversetzung ganz gering, und die von der Swinemünder Bucht her mit besonderer Lebhaftigkeit in Bewegung befindliche sandführende Küstenströmung wird wesentlich verlangsamt (Text-Abb. 21). Infolgedessen verschiebt der Wellengang nur verhältnismäßig geringe Mengen der Wandersände seitlich. Diese werden dann weiter durch den Küstenstrom um die Hafenanlage herum nach Osten verfrachtet. So wird dem Oststrande weniger an Sand zugeführt, als ihm der Rücklauf der vorherrschenden Brandungswellen jeweils entreißt. Diese erreichen hier das Ufer bereits ganz dicht neben der Wurzel der Ostmole. Die Strandstrecke, die unter dem Schutze der Ostmole gegen den Angriff der Hauptwellen liegt, ist sehr kurz, erheblich kleiner als z. B. bei Kolberg und Stolpmünde.

Diesem Nachteile, der auf die offene Lage der Küstenstrecke gegen die Hauptwellenrichtung zurückzuführen ist, wurde im Laufe der Zeit durch künstliche Schutzbauten entgegengewirkt. Insbesondere sind nach und nach vor der gefährdeten Strandstrecke eine größere Anzahl von Buhnen angelegt worden, die sich alsbald sehr gut bewährten und vollsten Erfolg für die Festlegung des Strandes brachten. Außerdem ließ auch hier die Hafenbauverwaltung, ebenso wie bei Kolberg, genügende Mengen Baggergut zur künstlichen Vermehrung der Sandzufuhr dicht vor dem Ufer verschütten. Seitdem ist tatsächlich das Gleichgewicht der Küste, das durch die Hafenanlage als „großer Einbau vor dem Strande“ verloren gegangen war, wieder hergestellt, und ein durchaus befriedigender Zustand eingetreten.

Daß der Abbruch des Oststrandes nicht noch größeres Maß angenommen hat, ist allein der glatten Umleitung der Wandersände zuzuschreiben, die durch die Form der Westmole ermöglicht wird. Wäre der Grundriß der Westmole nicht in so verhältnismäßig günstiger Weise dem Verlaufe der Küstenströmung angepaßt worden, würde die Hafenanlage ein noch stärkeres Hemmnis für die Sandwanderung bilden und damit die erforderliche Sandzufuhr nach der Ostseite hin noch mehr verringern. Das ursprüngliche Zurückweichen des östlichen Strandes beweist, daß auch noch so zweckmäßig angelegte Hafendämme diese Erscheinung nicht ohne weiteres verhindern können.

Ausschlaggebend für die Beurteilung der Hafenanlage ist aber die Tatsache, daß eine Versandung des wichtigsten Teiles des ganzen Hafens, der Einfahrt, in kaum nennenswertem Umfange eintritt. Deren Beseitigung erfordert nur ganz geringfügige Baggerungen, die von Zeit zu Zeit stattfinden. Deshalb wird unter diesen günstigen Umständen die für die Schiffahrt erforderliche Tiefe von 5 m mit besonderer Leichtigkeit dauernd eingehalten.

Dieser überaus gute Erfolg mit einer solchen Anordnung der Hafendämme übertrifft die aller anderen Häfen, die unter gleichen und ähnlichen Verhältnissen angelegt sind, ganz erheblich. Er ist auch um so beachtenswerter, als der bewegliche Küstensaum immerhin recht beträchtliche Sandmengen enthält, und auch die Wipper nicht etwa frei von Geschieben ist. Deshalb ist die Hafenanlage von Rügenwaldermünde eine der wenigen und an der deutschen Küste die einzige, die als gelungen bezeichnet werden und im großen und ganzen als Vorbild dienen kann.

Wahrscheinlich würde der Erfolg noch günstiger gewesen sein, wenn der Spülstrom an die Seite des mit der vorherrschenden Küstenströmung geneigten westlichen Dammes gelegt worden wäre. Diese Anordnung hätte dann den großen Vorteil, daß die Spülkraft der Wipper sich mit der des abgelenkten Küstenstromes unter einem sehr spitzen Winkel vereinigen, und daß dann beide zusammen die Sinkstoffe von der Hafenmündung fortführen könnten.

14. Die Hafenanlage von Windau (Text-Abb. 35). In ähnlicher Form, nur gewissermaßen als Spiegelbild der Anlage von Rügenwaldermünde, sind die äußeren Dämme des russischen Hafens von Windau an der Mündung des Windauflusses angeordnet. Jedoch haben sie sich nicht ganz so gut bewährt, wie die Anlage in Rügenwaldermünde. Der hier von Süden nach Norden gerichtete vorherrschende Küstenstrom ist sehr sinkstoffhaltig. Gerade nach den mit besonderer Stärke und Häufigkeit auftretenden Stürmen aus südlichen bis westlichen Richtungen bildet sich unmittelbar vor der Mündung eine Barre, die zeitweise große Ausdehnung erreicht. Deshalb müssen zur Aufrechterhaltung der erforderlichen Tiefen ganz regelmäßige Baggerungen zu Hilfe genommen werden. Günstig wirkt hierbei der Umstand mit, daß der Windaufluß so gut wie keine Sinkstoffe der See zuführt. Er ist daher an der Bildung der Barre vor der Mündung nur unwesentlich beteiligt. Auch beiderseits des Hafens an den Wurzeln der Dämme haben vor dem Ufer, wenn auch nicht sehr erheblich, Anlandungen stattgefunden, durch die der Strand vorgeschoben ist. Naturgemäß hat sich diese Erscheinung auf der Südseite weit stärker ausgebildet, weil der nach Norden streichende Küstenstrom bei weitem überwiegt. Vor allem aber verläuft der südliche

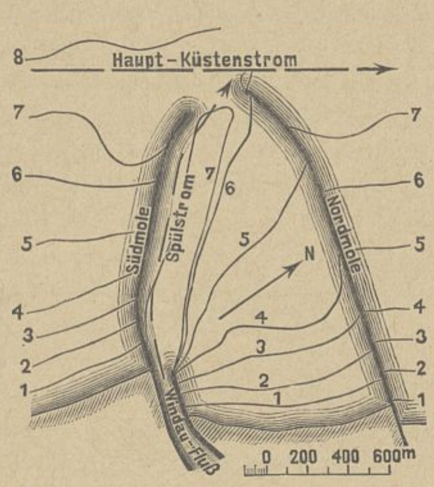


Abb. 35. Hafenanlage von Windau.

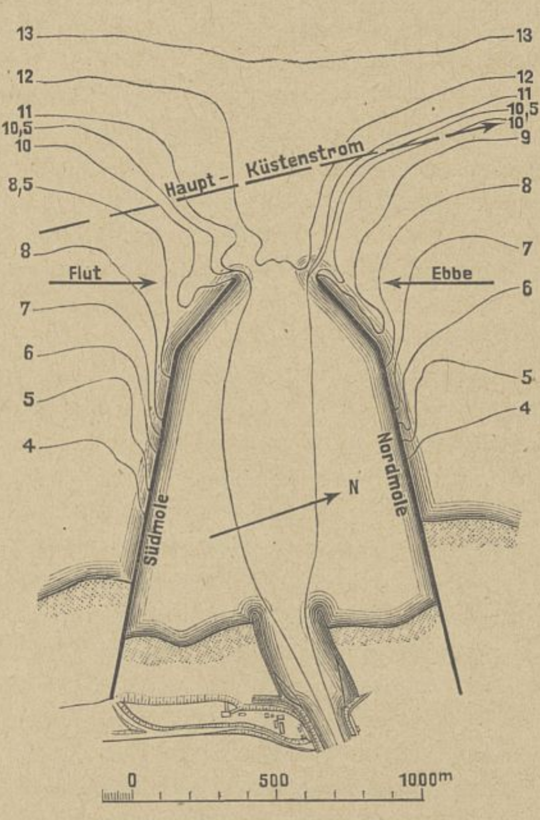


Abb. 36. Hafenanlage von Ymuiden.

Damm vom Ufer aus eine Strecke lang etwas gegen diesen Küstenstrom geneigt und hält infolgedessen die dicht am Ufer entlang ziehenden Sandmengen auf, so daß sie zur Ablagerung gezwungen werden. Immerhin ist auch diese Art der Anlage von Hafendämmen ganz glücklich durchgeführt und stimmt sogar im allgemeinen mit den vom Internationalen Schiffahrtskongreß in Paris 1889 als am zweckmäßigsten für die Häfen im Sandgebiet anerkannten Mustern überein.

15. Die Hafenanlage von Yumiden (Text-Abb. 36). Zum Schluß sei noch des an der nordholländischen Küste an der Ausmündung des Amsterdamer Seekanals gelegenen Hafens von Yumiden gedacht, der aus zwei schräg gegeneinander laufenden Dämmen gebildet ist.

Er gilt als lehrreiches Musterbeispiel einer Hafenanlage an sehr flacher und offener Sandküste mit verhältnismäßig schwachen Tideströmungen. In der Tat sind die Erfolge, die die hier zur Anwendung gebrachte gleichmäßige Anordnung schräg zur Uferlinie gerichteter Dämme gezeitigt hat, bisher außerordentlich günstig gewesen. Das unvermeidliche Vorrücken des Strandes beiderseits der Anlage ist ganz gering. Am südlichen Damm beträgt das Maß der davon herrührenden Versandung etwas mehr, weil die Sandwanderung vorzugsweise von Süden nach Norden geht.

Der Flut- und der Ebbestrom wird zum Teil durch die Dämme in deren Richtung abgelenkt. Längs der Dämme, namentlich längs des südlichen, tritt dabei eine erhebliche Steigerung der Stromgeschwindigkeiten ein. Sie erzeugen hier größere Tiefen und halten dadurch das Vorrücken des Strandes erfolgreich auf, so daß sich ein gewisser Gleichgewichtszustand herausgebildet hat. Die Sinkstoffe kommen nicht zur Ablagerung, sondern werden von den durch die Dämme abgelenkten Teile der Tideströme weiter mitgeführt. Diese Stromteile treffen entsprechend der Richtung der See-

enden der Dämme vor der Einfahrt unter 45° mit dem freien Küstenstrome zusammen, wobei natürlich ein Niederschlag der in den Strömungen enthaltenen Sinkstoffe stattfindet. Da der Flutstrom weit stärker ist, als der Ebbestrom, macht sich diese Barre mehr auf der Nordseite der Hafeneinfahrt bemerkbar. Deshalb kann hier auf ständige Baggerungen nicht verzichtet werden, um so weniger als die räumende Kraft des Spülstromes zur Mitwirkung bei der Offenhaltung des Hafens nicht zur Verfügung steht. Allerdings sind diese Unterhaltungsbaggerungen nicht erheblich, da gleich nach Beendigung der Molenbauten in und vor der Einfahrt eine größere, als ursprünglich im Plane vorgesehene Tiefe durch eine einmalige kräftige Baggerung hergestellt worden war. Dagegen erfordert die Unterhaltung der mitten durch den Hafen gehenden Fahrrinne in der Verlängerung der Ausmündung des Seekanals, die durch zwei gleichlaufende Leitdämme eine kurze Strecke in das Hafenbecken hineingeführt ist, sehr umfangreiche regelmäßige Baggerungen.

Der einzige Mangel, den die Grundrißform der Dämme aufweist, liegt in der schräg zum Küstenstrom geneigten Lage ihrer Seeenden. Sie würden zu noch stärkeren Ablagerungen in und vor der Einfahrt Veranlassung geben, wenn nicht die Sandwanderung an dieser Küstenstrecke ganz gering wäre. Die richtige Erkenntnis dieser schädlichen Folgen wurde bei dem später erbauten kleinen Fischereihafen von Scheveningen verwertet. Hier haben die Seenden der beiden gleichfalls schräg zum Ufer gerichteten Dämme eine halbkreisförmige Gestalt erhalten, wie sie auf Seite 728 als besonders vorteilhaft bezeichnet wurde. Der Erfolg soll durchaus den Erwartungen entsprochen haben.

V. Schlußfolgerungen.

Bei der großen Verschiedenheit der Anforderungen, die an die Anlage eines Seehafens gerade an sandiger Küste gestellt werden, lassen sich unmöglich feste allgemein gültige Regeln für die zweckmäßigste Anordnung der äußeren Hafendämme zusammenfassen. Insbesondere kann die notwendige Rücksicht auf die Erhaltung der Tiefe in der Einfahrt nicht immer mit der Rücksichtnahme auf Wind und Wellen, die der Schiffahrtsbetrieb für ein sicheres Ein- und Auslaufen und zum Schutze gegen Seegang verlangt, in Einklang gebracht werden. Nach den obigen Betrachtungen können sich die einzelnen erforderlichen Bedingungen sogar völlig widersprechen. Immerhin gelten die dafür maßgebenden Gesichtspunkte ganz allgemein, sie müssen nur folgerichtig auf die natürlichen Verhältnisse des Küstenortes angewendet werden, der für die Anlage eines Hafens ausgewählt ist. Dabei wird meist die eine oder die andere Forderung vorzugsweise erfüllt werden müssen, je nachdem davon der Grad der Wirtschaftlichkeit und der Bestand des Hafens abhängt. Infolgedessen können nicht alle Häfen im Sandgebiet gleich gestaltet sein.

Im allgemeinen hat für die Anordnung der Hafendämme die Erfahrung hinlänglich bewiesen, daß ein Hafen zur ausreichenden Verteidigung gegen seine Versandung besser aus zwei Dämmen als nur aus einem gebildet wird. Auch die Anwendung durchbrochener Hafendämme ist nicht empfehlenswert, selbst wenn die dafür nötigen Bedingungen: starke Küstenströmung und geringe Wirksamkeit der Strandvertriftung, noch so günstig erscheinen. Die beiden Dämme haben dann gemeinsam die Aufgabe, den Eintritt von Sandmassen in den Hafen zu verhindern. Durch ihre besondere zweckmäßige Linienführung müssen die Wirkungen der den sandigen Küsten schädlichen Naturkräfte teils bekämpft, teils aber auch sachgemäß ausgenutzt werden. In dieser Beziehung bieten gegenüber gleichlaufenden Dämmen die schräg zueinander gerichteten, die ein Hafenbecken von angemessener Wasserfläche einschließen, sowohl was die wissenschaftliche Betrachtung betrifft, als auch erfahrungsgemäß entschieden die bei weitem größeren Vorteile. Gerade bei einer solchen Anordnung können am ehesten die wichtigsten Bedingungen gleichzeitig erfüllt werden, die für die Lebensfähigkeit eines guten, jederzeit zugänglichen Seehafens in Frage kommen. In erster Linie handelt es sich um die Lage der Hafenmündung, die von der Richtung der heftigsten Stürme abgekehrt sein soll, um die Einfahrtsmöglichkeit nicht nur in einer Richtung und nicht zuletzt um die Erhaltung der Einfahrtstiefen.

Die Offenhaltung eines Hafens wird vor allem durch die Versandung bedroht, die von der See her die sandführende Küstenströmung herbeiführt. Diese setzt sich zusammen aus den zum Teil verschiedenartigen Wasserbewegungen längs der Küste, die vereinigt den eigentlichen Küstenstrom bilden, und aus der durch die Wellen erzeugten Strandvertriftung, der Küstenversetzung. Die letztere wichtige Naturerscheinung spielt sich ausschließlich in dem Brandungsgürtel ab, der als beweglicher Küstensaum bezeichnet wird. Der Stoff, der in ihm enthalten ist, liefert in erster Linie die Zerstörung der felsigen und tonigen Steilufer und bildet im Fortschreiten längs des Ufers unter der Mitwirkung des Küstenstromes den Strand der Flachküsten aus. Diese sind infolgedessen das eigentliche Gebiet des Sandes. Gerade an ihnen ist die für einen Hafen schädliche Wirkung der Sandwanderung am deutlichsten ausgeprägt. Der Küstenstrom fördert oder verzögert diese Küstenversetzung, je nachdem er in der Bewegungsrichtung der Wellen oder ihr entgegen verläuft.

Bei den großen in Betracht kommenden Massen kann die Sandführung des Küstenstromes durch kein Hindernis dauernd aufgehalten werden. Auch kein künstlicher Einbau in die See hinaus, wie auch seine Richtung und Länge sein mag, ist dazu imstande. Die Unterbrechung der Sandwanderung verursacht einen mit Wirbelbildungen verbundenen Aufstau, der Anlaß zum Niederschlagen der Sinkstoffe gibt. Jeder Hafendamm als Einbau vor dem Strande übt bereits die anlandende Wirkung von Buhnen aus. Je mehr aber das Werk mit seiner Grundrißform der Richtung der Bewegungskräfte angepaßt ist, desto geringer ist der Einfluß. Deshalb kommt alles darauf an, die Sandwanderung und die Küstenströmung in möglichst glatter Weise ohne Unterbrechung um die Anlage herum zu leiten. Diese Bewegung müssen die Hafendämme durch ihren Grundriß erleichtern. Der hierfür natürlichste Grundriß ist ohne Zweifel eine schräg zum Ufer gerichtete schlanke S-förmig gebogene Linie der Dämme. Ohnehin sind, um die Strömung nicht zu schwächen, alle Vorsprünge, Ecken und dergleichen zu vermeiden, obenso wie auch die Anwendung gerader Linien von großer Länge, namentlich in Nähe der Einfahrt, ungünstig auf Strömung und und Wellenschlag einwirkt. Die S-förmig mit der Strömung geneigten Werke können am Ufer unter der zulässig spitzesten Neigung zur Küstenlinie beginnen. Dadurch vermögen

sie die Ablagerungen in dem toten Winkel auf der Windseite zwischen Damm und Ufer und damit das Vorwandern des Strandes mit seinen schädlichen Folgen für die Hafenmündung besonders erfolgreich einzuschränken. Auch die Seenden haben durch ihre Form hierbei entsprechend mitzuhelfen. Sie sind deshalb, wie die Erfahrung als richtig gezeigt hat, in eine mit der Bewegungsrichtung der Wandersände gleichlaufende Lage zum Ufer zu führen. Ihr Grundriß wird dadurch ausbuchtend halbkreisförmig.

Da vor jeder Küste nur immer eine Windrichtung die Vorherrschaft hat, wird mithin die von solchen Winden hervorgerufene Sandbewegung und Küstenströmung vorzugsweise auch nur von dieser einen Seite wirken. Deshalb brauchen die Dämme nicht unbedingt gleichmäßig verlaufend zu sein. Es genügt, wenn nur bei dem gegen die Hauptwindrichtung gelegenen Damm die der fraglichen Bewegung entsprechende Grundrißform genau durchgeführt ist. Der leeseitige Damm kann unbeschadet der Gesamtwirkung der ganzen Anlage etwas steiler zum Ufer angeordnet sein, so daß er die Mündung auf kürzerem Wege erreicht. Nur sein seeseitiges Ende muß unbedingt die gleiche ausbuchtende Halbkreisform haben, damit die Küstenströmung auch bei ihrer zeitweisen Wirkung von dieser Seite glatt um die Hafenmündung herum gleiten kann. Hierauf ist besonders im Tidegebiet, wo der Wechsel der Stromrichtung regelmäßig stattfindet, zu achten. Auch hier kann das genaue Gleichmaß fallen gelassen werden. Der Ebbestrom ist an der Versandung meist weniger beteiligt, weil er auf der nördlichen Halbkugel ohnehin durch die Erdbewegung von der Küste mehr nach See zu abgelenkt wird.

Diese Grundrißform gilt in erster Linie für die Anlage von Häfen an der freien Sandküste. Sie ist jedoch auch auf solche Häfen sinngemäß anzuwenden, die an der Ausmündung eines Binnengewässers angelegt werden sollen. Bei solchen Entwürfen muß die Strömungskraft des Binnengewässers als Spülstrom für den Hafen und vor allem seine Mündung gehörig ausgenutzt werden. Die Wirksamkeit eines Spülstromes ist um so größer, je mehr seine Austrittsrichtung mit der Richtung des vorherrschenden Küstenstromes, der die Sinkstoffe enthält, noch mehr, wenn der Austritt so nahe als möglich mit der des vorherrschenden Wellenschlages, der die Sandwanderung erzeugt, zusammenfällt. Um das zu erreichen, ist der Spülstrom an die Seite des mit der Küstenströmung geneigten Dammes zu legen. An diesem gleitet der Strom bis zur Hafenmündung entlang und tritt hier in der Richtung der Sandbewegung aus. Dabei gehen die Strömungen ohne wesentlichen gegenseitigen Zusammenstoß ineinander über, so daß aller Voraussicht nach die Barrenbildung vor der Einfahrt ein Mindestmaß annimmt. Damit sich der Spülstrom auf seiner Fahrt durch den Hafen nicht zu sehr ausbreitet, ist seine Ausmündung in den Hafen auf der inneren Seite in Form eines Leitdammes so weit in das Hafenbecken hinein zu verlängern, wie dessen Benutzung als Ankerplatz für Schiffe solches zuläßt. Bis zum Ende dieses inneren Leitdammes wird dann der Spülstrom fest zusammen gehalten und von hier ab an den luvseitigen Damm herangepreßt, der seine weitere Führung wenigstens auf einer Seite bis zum Austritt aus dem Hafen übernimmt.

Um die Einfahrtsrinne dauernd in der erforderlichen Tiefe zu erhalten, muß aber der Spülstrom genügend kräftig sein. Wo solches nicht der Fall ist oder dort, wo überhaupt kein natürlicher Spülstrom vorhanden ist, könnte durch Anlage von Spülbecken künstliche Spülung geschaffen werden. Sie läßt sich naturgemäß nur im Tidegebiet und dort auch nur für solche Häfen einrichten, vor denen ein sehr großer Ebbe- und Flutwechsel stattfindet. Dann liegt aber meist die Gefahr vor, daß die Strömung zu stark wird und sowohl den Schiffsbetrieb beeinträchtigt, als auch den Bestand der Bauwerke gefährdet. Solche Anlagen sind früher im 19. Jahrhundert verschiedentlich zur Anwendung gekommen, haben sich aber nirgends besonders bewährt. Seit der Vervollkommnung und Verbilligung des Baggerbetriebes werden sie als nicht mehr zeitgemäß und völlig unzweckmäßig wohl schwerlich wiederholt werden.

Auch die geschickteste Form der Hafendämme, die noch so zweckmäßig der Richtung der Sandwanderung und des Küstenstromes entsprechen mag, kann allein die Bildung und weitere Zunahme der Verflachungen vor und in der Einfahrt nicht dauernd verhindern. Deshalb müssen ergänzende Maßnahmen zu Hilfe genommen werden, die das Auftreten dieser die Erhaltung eines Hafens bedrohenden Erscheinungen solange als möglich hintanzuhalten imstande sind. In erster Linie wird sich diese Versandungsgefahr naturgemäß um so später bemerkbar machen, je weiter die Dämme gleich von vornherein bis in beträchtliche Tiefen hinausgeführt sind, auch wenn diese das für die Einfahrt planmäßig vorgesehene Maß überschreiten. Die Grenze hierfür stellt die sogenannte neutrale Linie dar. Bis zu ihr vom Ufer aus üben die Wellen des Meeres noch eine umgestaltende Tätigkeit auf dem Meeresboden aus. Jenseits davon werden die aufgewühlten Sinkstoffe nicht wieder nach dem Lande zu getrieben, sondern in die großen bewegungslosen Tiefen gezogen, aus denen sie nie wiederkehren. Da die neutrale Linie von der Gewalt der Wellen und damit von der Windstärke abhängt, ist ihre Lage in allen Meeren verschieden. Sie kann sogar nicht einmal an ein und derselben Küstenstrecke ständig gleich sein, weil der Wind, abgesehen vom Wechsel seiner Richtung, zeitweise auch eine weit über seine gewöhnliche Kraftäußerung hinausgehende Wirkung entwickelt. Dann tritt für diese Zeit die neutrale Linie mehr in die See hinaus. Im allgemeinen genügt das Hinausschieben der Hafeneinfahrt bis zu einer Tiefe, die durch die mittlere Lage der neutralen Linie gegeben ist. Diese entspricht dem Durchschnittsergebnis des Einflusses, den die maßgebenden Naturkräfte bei vorherrschender Dauerwirkung auf den Meeresboden vor der betreffenden Küstenstrecke auszuüben pflegen.

Bei kleineren und unwichtigeren Häfen, für die allgemein geringere Tiefen genügen, braucht die Hafenmündung schon aus Gründen der Sparsamkeit nicht bis zur neutralen Linie hinausgeschoben zu werden. Aber sie muß zur Hemmung der Versandungsgefahr unbedingt um einige Tiefenmeter weiter in See liegen, als die für den Hafen planmäßig vorgesehene nutzbar Wassertiefe beträgt.

Die Beachtung dieser Regeln für die Lage der Hafeneinfahrten geben eine gewisse Gewähr dafür, daß das durch die buhnenartige Wirkung der Hafendämme hervorgerufene unvermeidliche Vorwandern des Strandes wesentlich langsamer vor sich geht. Von der Güte, mit der die Anordnung der Dämme nach den obigen Gesichtspunkten durchgeführt ist,

hängt der Zeitpunkt ab, bis sich die vor und in der Hafeneinfahrt entstehende Verflachung fühlbar macht und für die Schiffahrt schädlich wird. Bestenfalls wird er nur in unbestimmte Ferne gerückt. Deshalb kann nirgends früher oder später die Anwendung von Baggerungen entbehrt werden. Wenn schließlich alle baulichen Maßnahmen versagen, bietet die Unterstützung durch Baggerungen das einzig wirksame Hilfsmittel zur Erhaltung der erforderlichen Tiefen. Für den Umfang der Baggerungen, besonders ob sie nur vorübergehend oder regelmäßig stattfinden müssen, gibt sowohl der Sinkstoffreichtum der Küstenströmung, als auch die Lebhaftigkeit der Sandbewegung den Ausschlag.

Eine weitere Maßnahme, die bei der Verteidigung der Offenhaltung eines Hafen einigermaßen Erfolg verspricht, besteht darin, die Ursachen der gefahrdrohenden Verflachungen tunlichst zu beschränken. Da die an den Veränderungen der Flachküsten beteiligten Naturkräfte durch den Menschen in ihrer Tätigkeit und Entwicklung nicht gehindert werden können, müssen wenigstens ihre Wirkungen, die sich einmal in der Zerstörung der sandigen Ufer, zum anderen in der Fortbewegung der abgebrochenen Sandmassen äußern, abgeschwächt werden. Für diese Zwecke ist vor allem die Anlage von Buhnen an den Küsten das geeignetste Mittel. Sie sind in einer einheitlichen zusammenhängenden Gruppe auf eine weite Strecke vor dem Hafen anzuordnen, damit sie sich in ihrer anlandenden Wirkung gegenseitig unterstützen. Dadurch vermindern sie erfahrungsgemäß am besten den Abbruch der Ufer und damit die Erzeugung von Sand.

Von ganz besonderer Wichtigkeit ist die Ausbildung ihres festen „Landanschlusses". An der Ostsee binden die Buhnen, die in See aus einer mit großen Steinen beschwerten möglichst dicht und fest verlegten Faschinenpackung zwischen zwei Pfahlwänden bestehen, bis tief in den Strand ein. Von hier aus werden sie dann weiter als einfache Faschinenbuhnen ohne Beschwerung bis an das hohe Ufer bzw. an den Fuß des Dünenkörpers hinaufgezogen. Dieser landseitige Buhnenteil, der sog. Landanschluß, hat sich als unbedingt nötig erwiesen und gut bewährt. Er trägt wesentlich dazu bei, die Sandbewegung innerhalb der Buhnenfelder auch bei höheren Wasserständen aufzuhalten, zum mindesten aber erheblich abzuschwächen. Wo er gefehlt hat, haben die Buhnen niemals vollen Erfolg gebracht.

Überhaupt sind richtig angelegte und gut ausgeführte Buhnen in Verbindung mit zur Küste gleichlaufenden Bauwerken ein ausgezeichneter Uferschutz und bei genügender Länge und Dichtigkeit anderseits sehr wohl imstande, die Sandwanderung längs der Küste erfolgreich aufzuhalten.

Ebenso erscheint zur vermehrten Abhaltung der Sände vor ihrem Eintritt in den Hafen und zu ihrem Auffangen vorher ganz empfehlenswert, in geringer Entfernung von der Einfahrt größere Becken auf dem Meeresboden auszubaggern. Sie können dann, wenn ihre Herstellung nach Bedarf wiederholt wird, als Ablagerungsstätten für die Sinkstoffe der Küstenströmung gute Dienste bei dem Kampf um die Offenhaltung des Hafens leisten.

Auch auf der Leeseite der Häfen werden in den meisten Fällen Buhnen angelegt werden müssen. Jede größere Umgestaltung des Ufers ruft auf weite Strecken hin andere Veränderungen hervor. Die stellenweise Verlandung an den sandigen Ufern ist stets die Ursache für den Abbruch an einer anderen Stelle der benachbarten Küstenstrecke. Dieser Fall tritt gerade unterhalb eines Hafens ein. Das Hervortreten des Hafens aus der Küstenlinie stört den Gleichgewichtszustand, der sich zwischen Landverlust und Landgewinn allmählich ausgebildet hat, weil die zur Erhaltung dieses Zustandes nötige Sandzufuhr unterbrochen wird. Die Außenwerke des Hafens hindern die von der Küstenströmung herangeführten Sandmengen, die Küsten zu erreichen, an der sie früher angelandet wurden. Die Folge ist der Abbruch dieser Küste. Durch gut wirkende Buhnen kann er mit Vorteil verhindert werden.

So wird durch die Anlage von Seebuhnen die natürliche Entwicklung einer Küstenstrecke wesentlich beeinflußt. Einerseits hemmen die Buhnen die Sandwanderung, anderseits schützen sie den Strand vor Zerstörung, indem sie ihn festlegen, und stellen auf diese Weise bald das verlorengegangene Gleichgewicht an der Küste wieder her. Dieser natürliche Vorgang kann noch dadurch gefördert werden, daß die Sandzufuhr durch Verschütten von Baggerboden auf der Leeseite des Hafens künstlich vermehrt wird. Solches geschieht z. B. seit Jahren mit nachweislich gutem Erfolge auf der Ostseite der Häfen von Kolberg und Rügenwaldermünde.

Gleichzeitig führt die zunehmende Verlandung der Buhnen in günstiger Weise auch die allmähliche Erhöhung und Verbreiterung des Strandes in den Buhnenfeldern herbei. Dadurch wird die Bildung der zur Erhaltung einer Flachküste sehr wichtigen Vordüne kräftig gefördert. Durch weitere regelrechte und zweckmäßige Pflege kann der Dünenkörper so widerstandsfähig gemacht werden, daß selbst die stärksten Stürme ihn nicht zu durchbrechen vermögen. Solche Dünen sind der beste und billigste Uferschutz. Ihren Aufbau besorgt allein die Natur, der Mensch muß sie nur darin in zweckmäßiger Weise entsprechend unterstützen.

Trotz genauester Durchführung aller dieser Maßnahmen ist die dauernde Offenhaltung eines Hafens ohne Zuhilfenahme von Baggerungen schwer möglich. Mit mehr oder weniger umfangreichen Baggerarbeiten wird stets zu rechnen sein. Deshalb kann dort, wo das Hinausführen der Dämme bis in die durch die neutrale Linie gegebene Tiefe ganz außergewöhnliche Kosten verursachen würde, zur wesentlichen Verminderung der Bau- und auch der Unterhaltungskosten in Frage kommen, die Hafeneinfahrt in eine geringere Tiefe zu legen, als die Schiffahrt unbedingt verlangt. Die für die letztere erforderlichen Tiefen wären dann durch einmalige kräftige Ausbaggerung herzustellen und durch regelmäßige Baggerungen dauernd zu unterhalten.

An der deutschen und auch an der russischen Ostseeküste, wo die sogenannten Tertiär- und Quartärformationen, vor allem die Niederungen, bis unmittelbar an das Meer heranreichen, ist der sandige Strand ganz besonders deutlich ausgebildet. Infolgedessen machen sich hier die Wirkungen der Naturerscheinungen, deren Betätigungsfeld gerade die sandigen Meeresufer sind, im höchsten Grade bemerkbar. Durch den Angriff der maßgebenden Naturkräfte, sowie infolge der Wirkung von Vorgängen der Erdbildung ist das südliche Ostseeufer eine sehr ausgeprägte Abtragungsküste geworden. Die geringen Anlandungen, die an einigen Stellen stattfinden, haben bisher den ständigen Landverlust weder ausgleichen,

noch aufhalten können. Er hat bisher im Jahresdurchschnitt etwa 1 m i. M. betragen.

Die für die deutsche Ostseeküste vorherrschende Windrichtung ist erfahrungsgemäß die westliche, innerhalb des Quadranten von SW bis NW. Die von dort herkommenden Winde betragen 45 vH. aller überhaupt wehenden und sind stärker als die im Sommer häufigen östlichen. Sie treten in der längeren Winterzeit auf und haben schon deshalb größere Wirkungen, weil das Seewasser im Winter dichter und schwerer ist. Am gefährlichsten sind aber die östlichen Winde. Vor allem verursachen Nordoststürme die gefährlichen Sturmfluten, die dann den südwestlichen Teil der Ostsee zuweilen schwer heimsuchen.

Infolge der vorherrschenden westlichen Winde ist auch die Hauptwellenbewegung nach Osten gerichtet. Unter dem Einflusse dieser Kräfte ist eine fast ständige, von West nach Ost gehende Triftströmung, ein Küstenstrom, vorhanden, der durch verschiedenartige gleichgerichtete Wasserbewegungen unterstützt wird. Außerdem erzeugen die vorherrschenden Wellen eine Sandwanderung in derselben Richtung, eine östliche Küstenversetzung. Beweise dieser sandführenden Küstenströmung finden sich an allen Häfen der Küste. Jeder von ihnen leidet mehr oder weniger stark an Versandung gerade von Westen her. Hauptsächlich im Sommer kentert die Strömung aber auch zeitweise. Dann werden die Barren vor den Hafenmündungen etwas nach Westen verschoben. Sie bleiben aber niemals lange in dieser Lage.

Die unter der Dauerwirkung der vorwiegenden Westwinde sich einstellende Breite dieses beweglichen Küstensaumes ist nicht an der ganzen Küste gleich. Dort, wo eine Strecke unter Landschutz liegt, wie z. B. die Küste von der Peenemündung bis zur Swinemündung, ist der Brandungsgürtel, innerhalb dessen sich die Sandwanderung abspielt, schmäler. Im Mittel kann die neutrale Linie an der deutschen Ostseeküste in 9 m Tiefe angenommen werden. Wenn die Molenköpfe der größeren Häfen in dieser Tiefe lägen, müßten die einschlägigen Verhältnisse ohne Zweifel weit günstiger sein. Die Versandungen wären dann erst nach sehr geraumer Zeit so weit angewachsen, daß sie für die Hafenmündung unerträglich werden. Dabei soll die Kostenfrage ganz außer Betracht bleiben. Aber die Einfahrten der Ostseehäfen sind sämtlich weit vor der erwähnten Linie angelegt worden. Deshalb ist es nirgends möglich, ihre Mündung und Reede ohne planmäßige Baggerungen in der für die Schiffahrt nötigen Tiefe zu erhalten. Keiner der Häfen hätte seine Tiefe lange beibehalten, wenn er auf die natürlichen Kräfte allein angewiesen geblieben wäre.

Zur Einschränkung der Sandwanderung und zugleich zum Schutze gegen den fortschreitenden Abbruch der Küste sind allerorts planmäßig bauliche Maßregeln der verschiedensten Art mit mehr oder weniger Erfolg getroffen worden. Dort, wo Dünenbau möglich war, sind die Vordünen überall kräftig ausgebildet und wohl gepflegt. Von der Wirksamkeit dieser umfangreichen Küstenschutzbauten hängt naturgemäß die weitere Entwicklung der deutschen Ostseeküste ab, die auch die Versandung der Häfen entsprechend beeinflußt. Wenn es auch nicht gelingen wird, die bisher in stetem Zurückweichen begriffene Uferlinie zum dauernden Stillstand zu zwingen, so reichen doch die angewendeten zeitgemäßen Mittel nach den Beobachtungen und Erfahrungen sehr wohl aus, den weiteren Landverlust erfolgreich zu vermindern und die Zunahme der Versandung der Häfen wirksam zu beschränken. Der planmäßigen staatlichen Fürsorge liegt ob, diesen groß angelegten Küstenschutz in dauernd gutem Zustande zu bewahren und ihn erforderlichenfalls zu verstärken oder weiter auszubauen, um so mehr, als es sich zugleich um die für das Volkswohl notwendige Erhaltung zahlreicher menschlicher Wohnstätten und wichtiger Erwerbszweige an der See handelt.

Benutzte Quellen.

Akten der staatlichen Hafenbauämter in Memel, Pillau, Stolpmünde, Kolberg und Swinemünde.

Beschlüsse zum XI. Internationalen Schiffahrtkongreß in St. Petersburg, 1908.

Brückmann u. Evers, Beobachtungen über Strandverschiebungen an der Küste des Samlandes, I. Brüsterort. Februar 1912; in Schriften der Physikalisch-ökonomischen Gesellschaft in Königsberg i. Pr.

Brückmann, Beobachtungen über Strandverschiebungen an der Küste des Samlandes, II. Februar 1912; in Schriften der Physikalisch-ökonomischen Gesellschaft in Königsberg i. Pr.

Diekermann, Die Windverhältnisse an der vorpommerschen Küste, in „Annalen der Hydrographie und Maritimen Meteorologie“, 1914, Heft XI u. XII.

Ekmann, Zur Frage von der Ablenkung der Triftströmungen, in „Annalen der Hydrographie“ 1908. Heft XI.

Engels, Untersuchungen über die Wirkung der Strömungen auf sandigen Boden unter dem Einflusse von Querbauten. Zeitschrift für Bauwesen 1905.

Exner, Zur Kenntnis der untersten Winde über Land und Wasser und der durch sie erzeugten Meeresströmungen, in „Annalen der Hydrographie usw.“ 1912, Heft V.

Friedrichsen, Die Ostseesturmfluten der Jahreswende 1913/14 und ihre Wirkung auf Pommerns Küste. Greifswald 1914.

Germelmann, Schutzvorkehrungen an der pommerschen und preußischen Ostseeküste. Zentralblatt der Bauverwaltung 1908, Nr. 26.

Hagen, Handbuch der Wasserbaukunst.

Handbuch der Ingenieurwissenschaften, 3. Abt., 3. Aufl. 1901.

v. Horn, Über Richtung und Form der Seeenden von Hafendämmen an flachen und sandigen Seeküsten. Deutsche Bauzeitung 1892, Seite 302.

— Über die zweckmäßigste Form und Richtung von Hafendämmen an offener Seeküste. Deutsche Bauzeitung 1892.

Keilhack, Die Verlandung der Swinepforte. Berlin 1912. Sonderabdruck aus dem Jahrbuch der preuß. geologischen Landesanstalt für 1911.

Keller, Studien über die Gestaltung der Sandküsten und die Anlage der Seehäfen im Sandgebiet. Zeitschr. für Bauwesen 1880/81/82.

Kres, Deutsche Küstenflüsse. Berlin 1911.

Krüger, Meer und Küste bei Wangeroog und die Kräfte, die auf ihre Gestaltung einwirken. Zentralblatt der Bauverw. 1911.

Mohn, Einige Bemerkungen über den Einfluß der Erdrotation auf die Meeresströmungen. Annalen der Hydrographie 1908, Heft X.

Otto, Der Darss und Zingst. Ein Beitrag zur Entwicklungsgeschichte der vorpommerschen Küste. Greifswald 1913.

Poppen, Die Sandbänke an der Küste der deutschen Bucht der Nordsee. Annalen der Hydrographie 1912, Heft VI.

Schiötz, Zur Frage der durch den Wind erzeugten Meeresströmungen. Annalen der Hydrographie 1908, Heft X und 1909, Heft VI.

Schulze, Seehafenbau. Berlin 1911.

Segelhandbuch der Ostsee, I. Abteilung, 1906.

Tornquist, Über die Wanderung von Blöcken und Sand am ostpreußischen Ostseestrande; in Schriften der Physikalisch-ökonomischen Gesellschaft zu Königsberg i. Pr. 50. Jahrg. 1909, 2. Heft.

Witting, Zur Kenntnis des vom Winde erzeugten Oberflächenstromes. Annalen der Hydrographie 1909, Heft V.

Zusatzspannungen bei Gewölben.

Die statische Berechnung eines Gewölbes geht von der Annahme eines ebenen Stabbogens aus und beschränkt sich im allgemeinen auf die Untersuchung solcher Belastungsfälle, bei denen die Lasten in der Ebene des Bogens liegen; weiterhin wird stillschweigend vorausgesetzt, daß die äußeren Kräfte sich gleichmäßig über die Gewölbebreite verteilen. Bei einer Einzellast pflegt man gemäß Abb. 1 unter Zugrundelegung eines bestimmten Lastverteilungsgesetzes einen entsprechend begrenzten Gewölbestreifen durch zwei gleichlaufende Längsschnitte herauszutrennen und für sich zu betrachten; auch hier wird also eine gleichmäßige Verteilung über eine allerdings verringerte Gewölbebreite angenommen. Die Zusatzspannungen indessen, die dadurch entstehen, daß eine Last P nicht in der Mittelebene, sondern in dem Abstande e von ihr aufgebracht wird (Abb. 2) und daß zu der senkrechten Last P, wenn man sie nach der Mittelebene verlegt denkt, noch ein Drehmoment $P \cdot e$ hinzutritt, werden im allgemeinen nicht untersucht. Daß sie unter Umständen zu berücksichtigen sind, läßt der in Abb. 3 im Grundriß dargestellte Belastungsfall ohne weiteres erkennen. Er kann bei Eisenbahnbrücken durch zwei sich kreuzende Züge, aber auch bei Straßenbrücken durch entsprechende Belastungen entstehen. Es ist klar, daß hierbei am Scheitel in den Mitten der oberen und unteren Leibung größere Schubspannungen entstehen müssen. Im folgenden soll festgestellt werden, welche Größe diese Zusatzspannungen annehmen können, und ob es stets zulässig ist, sie zu vernachlässigen. Bei dieser Gelegenheit ist es auch, ohne den Umfang der Untersuchungen erheblich zu vergrößern, möglich, den Einfluß wagerechter Kräfte, die senkrecht zu den Brückenstirnen angreifen und ihren Ursprung in Winddruck, Fliehkräften oder Seitenstößen von Fahrzeugen haben können, zu verfolgen.

Abb. 1. Abb. 2.

Abb. 3.

Das Gewölbe in Abb. 4 wird in einer lotrecht zur Mittelebene stehenden Querschnittsebene durch ein Moment M und eine wagerechte Kraft W belastet. Letztere greift in Höhe der Bogenachse an. Liegt sie, wie in Abb. 5, um das Maß e' außerhalb derselben, so ist auch dieser Belastungsfall in der durch Abb. 4 gestellten Aufgabe enthalten, wenn man sich W' nach der Bogenachse hin verlegt denkt und das Moment $M = W' \cdot e'$ hinzunimmt.

Abb. 4.

Abb. 5.

Das Gewölbe in Abb. 6 ist durch Aufschneiden des Scheitels statisch bestimmt gemacht. In der durch die Schnittfuge gelegten wagerechten und lotrechten Ebene werden die statisch Unbestimmten X_a, X_b und X_c eingeführt. X_a ist die wagerechte Querkraft senkrecht zur Mittelebene, X_b ist das Moment in der wagerechten und X_c das in der senkrechten Ebene.

In der Abb. 6 ist ein beiderseits eingespannter Bogen angenommen. Da er räumlich sechsfach statisch unbestimmt ist, müssen gemäß Abb. 7 in der Mittelebene noch die drei weiteren statisch Unbestimmten X_d, X_e und X_f angebracht werden. In dem Abstande x von dem linken Kämpfer A möge jetzt ein Schnitt senkrecht zur Mittelebene und senkrecht zur Bogenachse gelegt werden; die wagerechte, senkrecht zur Mittelebene stehende Querschnittshauptachse werde als u-Achse, die senkrecht zu ihr und der Bogenachse, in der Mittelebene liegende Querschnittshauptachse werde als v-Achse eingeführt. Bezeichnet man die der u- und v-Achse zugeordneten Biegungsmomente mit M_u und M_v und das in der Schnittebene wirkende

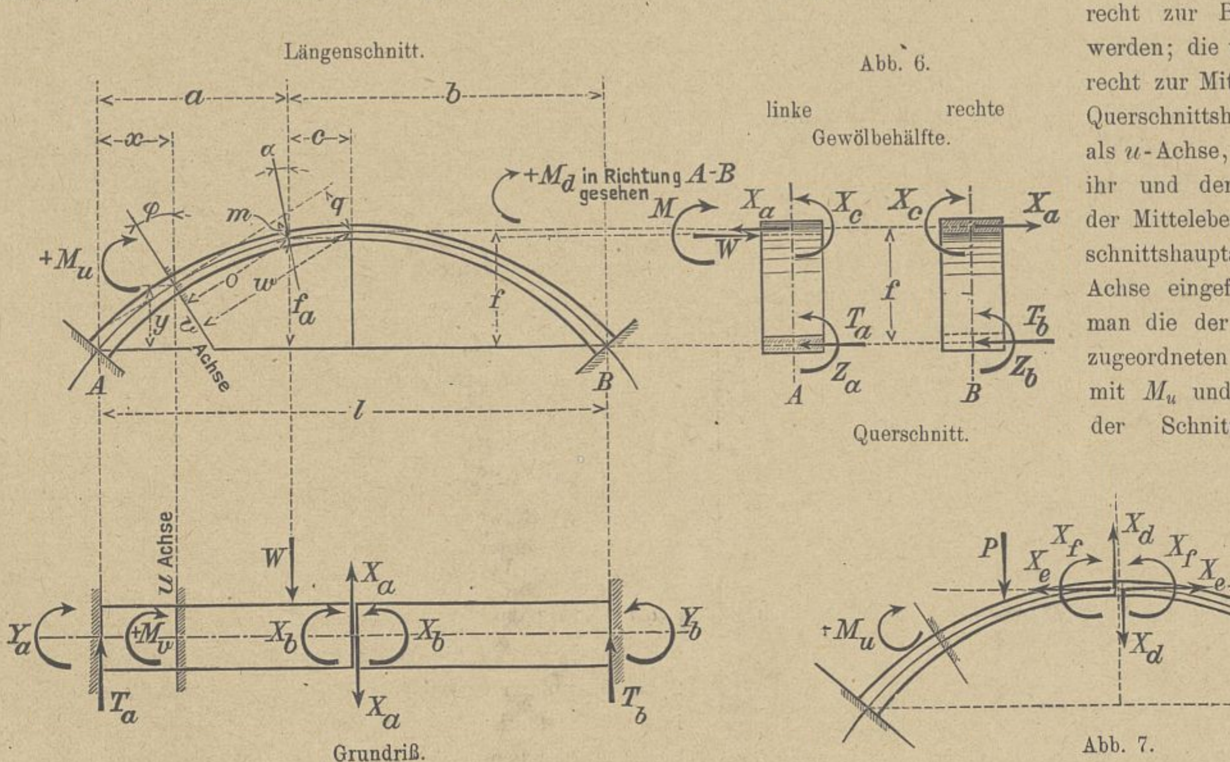


Abb. 6.

Abb. 7.

Drehmoment mit M_d, so ist ersichtlich, daß infolge der Lasten M und W, sowie der statisch Unbestimmten X_a, X_b und X_c nur Momente M_v und M_d entstehen. Hingegen treten Biegungsmomente M_u nur dann auf, wenn Kräfte in der Mittelebene oder in ihr gleichlaufenden Ebenen vorhanden sind, also z. B. senkrechte Kräfte P wie in Abb. 7; in diesem Falle ist auch nur mit den statisch Unbestimmten X_d, X_e und X_f zu rechnen. Sie werden dagegen hier, wo es sich um die Lasten M und W handelt, gleich Null. Die statisch Unbestimmten X_a, X_b, X_c einerseits und X_d, X_e, X_f anderseits können daher unabhängig voneinander ermittelt werden. Bei den vorliegenden Untersuchungen brauchen nur X_a, X_b und X_c berechnet zu werden, und es ist gleichgültig, ob das Gewölbe, als ebener Stabbogen betrachtet, statisch bestimmt oder unbestimmt ausgebildet ist. Der Gang der Rechnung und ihre Ergebnisse sind für den eingespannten Bogen und die Bögen mit Gelenken die gleichen, sofern nur an den Gelenken die in Richtung der Fuge wirkenden, X_a parallel gerichteten Querkräfte und die Momente M_v und M_d übertragen werden können; und das trifft immer zu, da die Druckspannungen infolge des Eigengewichtes stets größer sind als die Zugspannungen, die durch die Momente M_v und M_d hervorgerufen werden.

Den weiteren Untersuchungen wird ein symmetrischer Bogen zugrunde gelegt. Durch lotrechte Verschiebung des Ebenenkreuzes, in dem die statisch Unbestimmten X_a, X_b und X_c angeordnet sind, läßt es sich erreichen, daß jede der aufzustellenden Arbeitsgleichungen nur eine einzige Unbekannte erhält.[1]) Ein Vorteil für die nachfolgenden Zahlenrechnungen ergibt sich indes hierbei nicht; es wird vorgezogen, die statisch Unbestimmten in Höhe des Scheitels wie in Abb. 6 zu belassen.

Folgende Bezeichnungen werden eingeführt (vgl. Abb. 6):

l und f bedeuten die Spannweite und die Pfeilhöhe des Bogens, x und y die Koordinaten eines Punktes der Bogenachse, auf den linken Kämpfer bezogen;

a, b, c und f_a sind die Abstände des Punktes der Bogenachse, in dem die Lasten M und W angreifen, von den Lotrechten durch die Kämpfer, durch den Scheitel und von der Bogensehne;

φ und α sind die Neigungswinkel der Bogenachse gegen die Wagerechte in den Punkten mit den Koordinaten x, y und a, f_a;

m, q, sowie o, w sind die Abstände des Punktes mit den Koordinaten a, f_a und des Scheitels von der Tangente und von der Normalen zur Bogenachse in dem Punkte x, y.

Unter dem Einfluß der Lasten M und W entstehen an den beiden Kämpfern die in der Abb. 6 dargestellten Auflagerkräfte T, Y und Z. T ist die wagerechte Querkraft in Richtung der Kämpferfuge, Y ist das in der wagerechten und Z das in der senkrechten, durch die Kämpferfuge gelegten Ebene wirkende Moment. Versieht man die Auflagerkräfte des linken Kämpfers mit dem Zeiger a, die des rechten mit dem Zeiger b, so werden

1) Vgl. Nitzsche, Nebenspannungen in Gewölben, die in senkrecht zu einer Stirnfläche stehenden Ebenen von äußeren Kräften belastet werden. Borna-Leipzig, Buchdruckerei Robert Noske, 1910.

$$1)\quad \begin{cases} T_a = +W - X_a; & T_b = +X_a \\ Y_a = -W\cdot a + X_a\cdot\dfrac{l}{2} - X_b; & Y_b = -X_a\cdot\dfrac{l}{2} - X_b \\ Z_a = +M + W\cdot f_a - X_a\cdot f - X_c; & Z_b = +X_a\cdot f + X_c. \end{cases}$$

Hierbei ist vorausgesetzt, daß die äußeren Lasten M und W links vom Scheitel angreifen.

Der Richtungssinn der Momente M_v und M_d eines beliebigen Gewölbequerschnittes ist aus der Abb. 6 zu erkennen. Man findet

$$2)\quad M_v = \Big[-M\cdot\sin\varphi - W\cdot o\Big]_{x=0}^{x=a} + X_a\cdot w - X_b\cdot\cos\varphi + X_c\cdot\sin\varphi.$$

Der Klammerausdruck $\Big[-M\cdot\sin\varphi - W\cdot o\Big]_{x=0}^{x=a}$ gilt nur für Querschnitte links von M und W; rechts von ihnen wird er gleich Null. Zwischen dem Scheitel und dem rechten Kämpfer sind w und φ negativ zu nehmen.

Gleichung 2 ergibt

$$3)\quad \frac{\partial M_v}{\partial X_a} = +w;\quad \frac{\partial M_v}{\partial X_b} = -\cos\varphi \text{ und } \frac{\partial M_v}{\partial X_c} = +\sin\varphi.$$

Für M_d erhält man:

$$4)\quad M_d = \Big[-M\cdot\cos\varphi + W\cdot m\Big]_{x=0}^{x=a} - X_a\cdot q + X_b\cdot\sin\varphi + X_c\cdot\cos\varphi.$$

Auch hier verschwindet der Klammerausdruck für die Querschnitte rechts von M und W; bei der rechten Gewölbehälfte ist φ mit negativem Vorzeichen einzuführen.

Durch partielle Differentiation der Gleichung 4 werden

$$5)\quad \frac{\partial M_d}{\partial X_a} = -q,\quad \frac{\partial M_d}{\partial X_b} = +\sin\varphi \text{ und } \frac{\partial M_d}{\partial X_c} = +\cos\varphi.$$

Zur Ermittlung der statisch Unbestimmten werden die bekannten Arbeitsgleichungen

$$6)\quad \begin{cases} 0 = \displaystyle\int \frac{M_v}{E\cdot J_v}\cdot\frac{\partial M_v}{\partial X_a}\cdot ds + \int \zeta\,\frac{J_u + J_v}{4\cdot J_u\cdot J_v}\cdot\frac{M_d}{G}\cdot\frac{\partial M_d}{\partial X_a}\cdot ds, \\ 0 = \displaystyle\int \frac{M_v}{E\cdot J_v}\cdot\frac{\partial M_v}{\partial X_b}\cdot ds + \int \zeta\,\frac{J_u + J_v}{4\cdot J_u\cdot J_v}\cdot\frac{M_d}{G}\cdot\frac{\partial M_d}{\partial X_b}\cdot ds, \\ 0 = \displaystyle\int \frac{M_v}{E\cdot J_v}\cdot\frac{\partial M_v}{\partial X_c}\cdot ds + \int \zeta\,\frac{J_u + J_v}{4\cdot J_u\cdot J_v}\cdot\frac{M_d}{G}\cdot\frac{\partial M_d}{\partial X_c}\cdot ds \end{cases}$$

verwendet. Der Einfluß der Querkräfte und der Normalkräfte auf die Formänderungsarbeit ist hierbei als unwesentlich vernachlässigt. Der Anteil der Biegungsmomente M_v an der Formänderungsarbeit ist durch die $\displaystyle\int \frac{M_v}{E\cdot J_v}\cdot\frac{\partial M_v}{\partial X}\cdot ds$ und der der Drehmomente M_d durch die $\displaystyle\int \zeta\,\frac{J_u + J_v}{4\cdot J_u\cdot J_v}\cdot\frac{M_d}{G}\cdot\frac{\partial M_d}{\partial X}\cdot ds$ gegeben. Es bedeuten

E das Elastizitätsmaß,

G das Gleitmaß,

J_u das Trägheitsmoment eines Bogenquerschnittes in bezug auf die u-Achse,

J_v das Trägheitsmoment eines Bogenquerschnittes in bezug auf die v-Achse,

ζ einen Beiwert in dem Ausdruck für den verhältnismäßigen Verdrehungswinkel $\vartheta = \zeta\,\dfrac{J_u + J_v}{4\cdot J_u\cdot J_v}\cdot\dfrac{M_d}{G}$ und

ds das Bogendifferential.

Setzt man in die Gleichungen 6 die in den Gleichungen 2 bis 5 gewonnenen Werte ein und ordnet nach äußeren Lasten und statisch Unbestimmten, wie es die gleichbedeutenden Gleichungen von Müller-Breslau

$$7)\begin{cases} 0 = P\cdot\delta_{ma} + X_a\cdot\delta_{aa} + X_b\cdot\delta_{ab} + X_c\cdot\delta_{ac}, \\ 0 = P\cdot\delta_{mb} + X_a\cdot\delta_{ab} + X_b\cdot\delta_{bb} + X_c\cdot\delta_{bc}, \\ 0 = P\cdot\delta_{mc} + X_a\cdot\delta_{ac} + X_b\cdot\delta_{bc} + X_c\cdot\delta_{cc} \end{cases}$$

zum Ausdruck bringen, und beachtet außerdem, daß bei dem vorliegenden symmetrischen Bogen

$$\int_0^l w\cdot\cos\varphi\cdot ds = 0,$$

$$\int_0^l \sin\varphi\cdot\cos\varphi\cdot ds = 0$$

und

$$\int_0^l q\cdot\sin\varphi\cdot ds = 0$$

werden, so erhält man schließlich folgende Beiwerte der Gleichungen 7:

$$8)\begin{cases} \delta_{aa} = \dfrac{1}{E\cdot J_v}\left[\int_0^l w^2\cdot ds + \zeta\cdot\dfrac{E}{G}\cdot\dfrac{J_u+J_v}{4\cdot J_u}\int_0^l q^2\cdot ds\right] \\ \delta_{ab} = 0 \\ \delta_{bb} = \dfrac{1}{E\cdot J_v}\left[\int_0^l \cos^2\varphi\cdot ds + \zeta\cdot\dfrac{E}{G}\cdot\dfrac{J_u+J_v}{4\cdot J_u}\int_0^l \sin^2\varphi\cdot ds\right] \\ \delta_{ac} = \dfrac{1}{E\cdot J_v}\left[\int_0^l w\cdot\sin\varphi\, ds - \zeta\cdot\dfrac{E}{G}\cdot\dfrac{J_u+J_v}{4\cdot J_u}\int_0^l q\cdot\cos\varphi\cdot ds\right] \\ \delta_{bc} = 0 \\ \delta_{cc} = \dfrac{1}{E\cdot J_v}\left[\int_0^l \sin^2\varphi\cdot ds + \zeta\cdot\dfrac{E}{G}\cdot\dfrac{J_u+J_v}{4\cdot J_u}\int_0^l \cos^2\varphi\cdot ds\right] \end{cases}$$

Bei einer Belastung durch M werden die Beiwerte dieser Last:

$$9)\begin{cases} \delta_{ma} = \dfrac{1}{E\cdot J_v}\left[-\int_0^a w\cdot\sin\varphi\cdot ds + \zeta\cdot\dfrac{E}{G}\cdot\dfrac{J_u+J_v}{4\cdot J_u}\int_0^a q\cdot\cos\varphi\cdot ds\right] \\ \delta_{mb} = \dfrac{1}{E\cdot J_v}\left[\int_0^a \sin\varphi\cdot\cos\varphi\cdot ds - \zeta\cdot\dfrac{E}{G}\cdot\dfrac{J_u+J_v}{4\cdot J_u}\int_0^a \sin\varphi\cdot\cos\varphi\cdot ds\right] \\ \delta_{mc} = -\dfrac{1}{E\cdot J_v}\left[\int_0^a \sin^2\varphi\cdot ds + \zeta\cdot\dfrac{E}{G}\cdot\dfrac{J_u+J_v}{4\cdot J_u}\int_0^a \cos^2\varphi\cdot ds\right]. \end{cases}$$

Als Beiwerte einer Last W findet man:

$$10)\begin{cases} \delta_{ma} = -\dfrac{1}{E\cdot J_v}\left[\int_0^a o\cdot w\cdot ds + \zeta\cdot\dfrac{E}{G}\cdot\dfrac{J_u+J_v}{4\cdot J_u}\int_0^a m\cdot q\cdot ds\right] \\ \delta_{mb} = \dfrac{1}{E\cdot J_v}\left[\int_0^a o\cdot\cos\varphi\cdot ds + \zeta\cdot\dfrac{E}{G}\cdot\dfrac{J_u+J_v}{4\cdot J_u}\int_0^a m\cdot\sin\varphi\cdot ds\right] \\ \delta_{mc} = \dfrac{1}{E\cdot J_v}\left[-\int_0^a o\cdot\sin\varphi\cdot ds + \zeta\cdot\dfrac{E}{G}\cdot\dfrac{J_u+J_v}{4\cdot J_u}\int_0^a m\cdot\cos\varphi\cdot ds\right] \end{cases}$$

In den Gleichungen 8 bis 10 sind überall gleiche mittlere Trägheitsmomente J_u und J_v eingeführt.

Die genaue Auswertung der Integrale in den Ausdrücken für die Beiwerte δ ist umständlich, wenn die Bogenachse, wie es im allgemeinen der Fall sein wird, nicht nach einer einfachen mathematischen Linie geformt ist. Man kann eine tafelmäßige oder zeichnerische Auflösung wählen, wobei die Veränderlichkeit der Trägheitsmomente ohne weiteres berücksichtigt werden kann, oder man ersetzt die gegebene Bogenform durch einen Kreisbogen von derselben Spannweite und Pfeilhöhe und wertet für diesen die Integrale aus. Der Fehler, der hierbei gemacht wird, ist bei flacheren Brücken unerheblich. Aber auch bei Gewölben mit größerem Stich tritt er kaum in die Erscheinung gegenüber der Unsicherheit unsrer Kenntnisse über die Größe der Verdrehungsarbeit und der Ungenauigkeit des Endergebnisses, die durch die Einführung des Ausdruckes $\vartheta = \zeta\cdot\dfrac{J_u+J_v}{4\cdot J_u\cdot J_v}\cdot\dfrac{M_d}{G}$ für den verhältnismäßigen Verdrehungswinkel bedingt ist.

Den weiteren Untersuchungen wird ein Kreisbogen zugrunde gelegt, dessen Halbmesser r durch die Beziehung $\dfrac{l^2}{4} = f(2r - f)$ gegeben ist. Weiter gilt nach Abb. 8:

$$w = r\cdot\sin\varphi,$$
$$q = r\,(1 - \cos\varphi),$$
$$o = r\cdot\sin(\varphi - \alpha),$$
$$m = r - r\cdot\cos(\varphi - \alpha),$$
$$ds = -r\cdot d\varphi.$$

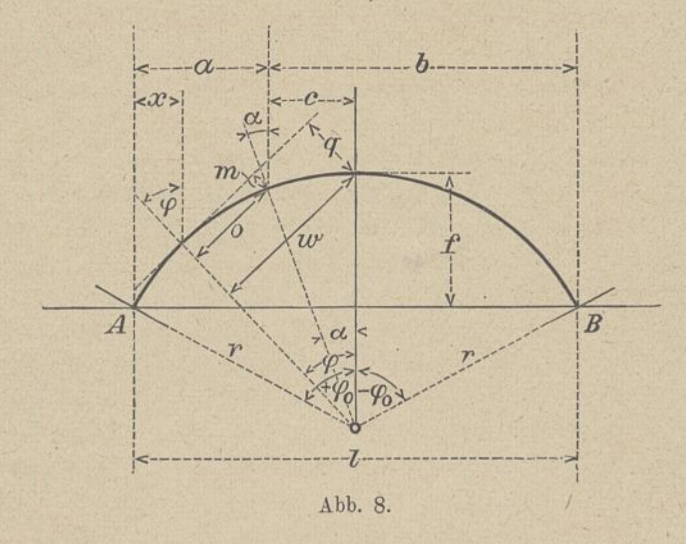


Abb. 8.

Die Integrale der Gleichungen 8 sind in den Grenzen von $(+\varphi_0)$ bis $(-\varphi_0)$ und die der Gleichungen 9, 10 von $(+\varphi_0)$ bis $(+\alpha)$ zu nehmen, wobei φ_0 der dem halben Bogen entsprechende Mittelpunktswinkel ist. Die Durchführung bietet nichts Besonderes und kann hier übergangen werden. Setzt man noch für ζ in Übereinstimmung mit den Versuchen von Bach und Bauschinger die Zahl 1,2, so erhält man schließlich umstehende (S. 783/84), den Gleichungen 8, 9 und 10 entsprechende Ausdrücke 11), 12) und 13).

Nachdem die Beiwerte δ mittels der Gleichungen 8 bis 10 oder 11 bis 13 ermittelt sind, können die statisch Unbestimmten aus den Gleichungen 7 berechnet werden. Da $\delta_{ab} = \delta_{bc} = 0$, erhält man:

$$14)\begin{cases} X_a = \dfrac{-\delta_{ma}\cdot\delta_{cc} + \delta_{mc}\cdot\delta_{ac}}{\delta_{aa}\cdot\delta_{cc} - \delta_{ac}^2}\cdot P, \\ X_b = -\dfrac{\delta_{mb}}{\delta_{bb}}\cdot P, \\ X_c = \dfrac{\delta_{ma}\cdot\delta_{ac} - \delta_{mc}\cdot\delta_{aa}}{\delta_{aa}\cdot\delta_{cc} - \delta_{ac}^2}\cdot P. \end{cases}$$

Mit P ist allgemein die äußere Last bezeichnet, als welche hier entweder M oder W in Frage kommt. Für δ_{ma}, δ_{mb} und δ_{mc} sind entweder die Ausdrücke der Gleichungen 12 oder die der Gleichungen 13 einzusetzen, je nachdem es sich um eine Last M oder eine Last W handelt.

Zwei Zahlenbeispiele sollen die Anwendung der gefundenen Gleichungen erläutern und Aufschluß über die Größe der auftretenden Kräfte geben.

Erstes Beispiel.

Als erstes Beispiel wird der in den Abb. 9 u. 10 dargestellte Bogen behandelt. Es ist eine Eisenbetonbrücke mit drei Gelenken von 48 m Spannweite und 5 m Pfeilhöhe. Die Gewölbebreite beträgt 18 m; die Fußwege kragen auf jeder Seite um 0,50 m über, so daß eine nutzbare Fahrbahn-

Beiwerte der statisch Unbestimmten X_a, X_b, X_c:

$$
11)\left\{\begin{aligned}
\delta_{aa} &= \frac{r^3}{E\cdot J_v}\left[(\varphi_0 - \sin\varphi_0\cdot\cos\varphi_0) + 0{,}3\frac{E}{G}\left(1+\frac{J_v}{J_u}\right)(3\,\varphi_0 - 4\sin\varphi_0 + \sin\varphi_0\cdot\cos\varphi_0)\right]\\
\delta_{ab} &= 0\\
\delta_{bb} &= \frac{r}{E\cdot J_v}\left[(\varphi_0 + \sin\varphi_0\cdot\cos\varphi_0) + 0{,}3\frac{E}{G}\left(1+\frac{J_v}{J_u}\right)(\varphi_0 - \sin\varphi_0\cdot\cos\varphi_0)\right]\\
\delta_{ac} &= \frac{r^2}{E\cdot J_v}\left[(\varphi_0 - \sin\varphi_0\cdot\cos\varphi_0) + 0{,}3\frac{E}{G}\left(1+\frac{J_v}{J_u}\right)(\varphi_0 - 2\sin\varphi_0 + \sin\varphi_0\cdot\cos\varphi_0)\right]\\
\delta_{bc} &= 0\\
\delta_{cc} &= \frac{r}{E\cdot J_v}\left[(\varphi_0 - \sin\varphi_0\cdot\cos\varphi_0) + 0{,}3\frac{E}{G}\left(1+\frac{J_v}{J_u}\right)(\varphi_0 + \sin\varphi_0\cdot\cos\varphi_0)\right]
\end{aligned}\right.
$$

Beiwerte der äußeren Last M:

$$
12)\left\{\begin{aligned}
\delta_{ma} &= \frac{r^2}{2\,E\cdot J_v}\Big\{-[\varphi_0 - \sin\varphi_0\cdot\cos\varphi_0 - (\alpha - \sin\alpha\cdot\cos\alpha)] + 0{,}3\frac{E}{G}\left(1+\frac{J_v}{J_u}\right)[2\sin\varphi_0 - 2\sin\alpha - \varphi_0 - \sin\varphi_0\cdot\cos\varphi_0 + \alpha + \sin\alpha\cdot\cos\alpha]\Big\}\\
\delta_{mb} &= -\frac{r}{2\,E\cdot J_v}\left[\sin^2\varphi_0 - \sin^2\alpha\right]\cdot\left[0{,}3\frac{E}{G}\left(1+\frac{J_v}{J_u}\right) - 1\right]\\
\delta_{mc} &= -\frac{r}{2\,E\cdot J_v}\Big\{\varphi_0 - \sin\varphi_0\cdot\cos\varphi_0 - (\alpha - \sin\alpha\cdot\cos\alpha) + 0{,}3\frac{E}{G}\left(1+\frac{J_v}{J_u}\right)[\varphi_0 + \sin\varphi_0\cdot\cos\varphi_0 - (\alpha + \sin\alpha\cdot\cos\alpha)]\Big\}
\end{aligned}\right.
$$

Beiwerte der äußeren Last W:

$$
13)\left\{\begin{aligned}
\delta_{ma} &= \frac{r^3}{E\cdot J_v}\Big\{\tfrac{1}{2}[\cos\varphi_0\cdot\sin(\varphi_0-\alpha) - (\varphi_0-\alpha)\cdot\cos\alpha] + 0{,}3\frac{E}{G}\left(1+\frac{J_v}{J_u}\right)[\sin\varphi_0 - \sin\alpha + (1-\tfrac{1}{2}\cdot\cos\varphi_0)\cdot\sin(\varphi_0-\alpha) - (\varphi_0-\alpha)\cdot(1+\tfrac{1}{2}\cos\alpha)]\Big\}\\
\delta_{mb} &= \frac{r^2}{E\cdot J_v}\Big\{\tfrac{1}{2}[\sin\varphi_0\cdot\sin(\varphi_0-\alpha) - (\varphi_0-\alpha)\cdot\sin\alpha] + 0{,}3\frac{E}{G}\left(1+\frac{J_v}{J_u}\right)[\cos\alpha - \cos\varphi_0 - \tfrac{1}{2}\sin\varphi_0\cdot\sin(\varphi_0-\alpha) - \tfrac{1}{2}(\varphi_0-\alpha)\cdot\sin\alpha]\Big\}\\
\delta_{mc} &= \frac{r^2}{E\cdot J_v}\Big\{\tfrac{1}{2}[\cos\varphi_0\cdot\sin(\varphi_0-\alpha) - (\varphi_0-\alpha)\cdot\cos\alpha] + 0{,}3\frac{E}{G}\left(1+\frac{J_v}{J_u}\right)[\sin\varphi_0 - \sin\alpha - \tfrac{1}{2}\cos\varphi_0\cdot\sin(\varphi_0-\alpha) - \tfrac{1}{2}(\varphi_0-\alpha)\cdot\cos\alpha]\Big\}
\end{aligned}\right.
$$

breite von 19 m vorhanden ist. Das Gewölbe ist ein Korbbogen, der so errechnet ist, daß bei der ungünstigsten Belastung durch senkrechte Lasten eine Spannung von 40 kg/qcm überall annähernd erreicht, aber nirgends überschritten wird. Die Bogenstärke h beträgt im Scheitel 0,65 m, in der Bruchfuge 1,05 m und im Kämpfer 0,80 m. In der oberen und unteren Leibung sind zwischen dem Scheitel und der Bruchfuge je fünf 36 mm und zwischen der Bruchfuge und dem Kämpfer je fünf 28 mm Rundeisen auf 1 m Gewölbebreite verlegt. Unter Berücksichtigung der Eiseneinlagen sind die mittleren Trägheitsmomente zu $J_u = 1{,}255\ \mathrm{m}^4$ und $J_v = 463\ \mathrm{m}^4$ ermittelt, so daß $\frac{J_v}{J_u} = 368$ ist.

Für die Berechnung wird der gegebene Bogen durch einen Kreisbogen ersetzt, für den sich ein Halbmesser $r = 60{,}10$ m ergibt, wenn die Spannweite und die Pfeilhöhe beibehalten werden. Man findet dann die weiteren Zahlenwerte:

$$
\begin{aligned}
\varphi_0 &= 23^0\ 32'\ 12'' = 0{,}410\,792,\\
\sin\varphi_0 &= 0{,}399\,334,\\
\cos\varphi_0 &= 0{,}916\,805,\\
\sin\varphi_0\cdot\cos\varphi_0 &= 0{,}366\,112,\\
\varphi_0 - \sin\varphi_0\cdot\cos\varphi_0 &= 0{,}044\,680,\\
\varphi_0 + \sin\varphi_0\cdot\cos\varphi_0 &= 0{,}776\,904.
\end{aligned}
$$

Das Verhältnis des Elastizitätsmaßes zum Gleitmaß wird durch die bekannte Beziehung $G = \frac{m}{2\,(m+1)}\cdot E$ geregelt. Setzt man hierin $m = \frac{10}{3}$, so wird $\frac{E}{G} = 2{,}6$ und daher $0{,}3\frac{E}{G}\cdot\left(1+\frac{J_v}{J_u}\right) = 0{,}78\cdot 369 = 288.$

Mit diesen Zahlenwerten ergeben die Gleichungen 11 folgende Beiwerte der statisch Unbestimmten:

$$
\begin{aligned}
\delta_{aa} &= \quad 0{,}376\,456\,\frac{r^3}{E\cdot J_v},\\
\delta_{bb} &= \quad 13{,}644\,744\,\frac{r}{E\cdot J_v},\\
\delta_{cc} &= 223{,}793\,032\,\frac{r}{E\cdot J_v}
\end{aligned}
$$

und

$$\delta_{ac} = -6{,}223\,352\,\frac{r^2}{E\cdot J_v}.$$

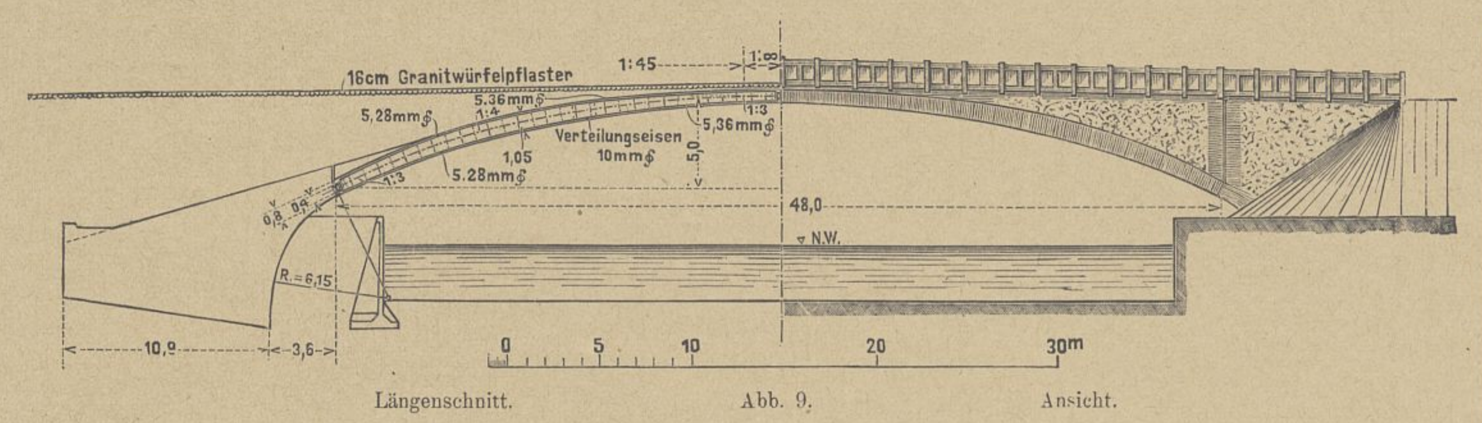
Die Nennerdeterminante $N = \delta_{aa}\cdot\delta_{cc} - \delta_{ac}{}^2$ wird

$$45{,}518\,120\left[\frac{r^2}{E\cdot J_v}\right]^2.$$

Die Beiwerte δ_{ma}, δ_{mb}, δ_{mc} werden von 2 zu 2 m Abstand für einen Lastangriff auf der linken Bogenhälfte bestimmt. Zunächst wird der Einfluß der Lasten M untersucht.

Die Auswertung der Gleichungen 12 führt unter Benutzung der Gleichungen 14 zu den in der Abb. 11 dargestellten Einflußlinien der statisch Unbestimmten X_a, X_b und X_c. Die Größen der Einflußordinaten und Einflußflächen sind in der Abbildung angegeben. Mittels der Gleichungen 2 und 4 können jetzt auch die Einflußlinien der Momente M_v und M_d festgelegt werden; und zwar sind sie für die Punkte in den Abständen $x = 0$ m (Kämpfer), $x = 6{,}0$ m, $x = 12{,}0$ m (Bruchfuge), $x = 18{,}0$ m und $x = 24{,}0$ m (Scheitel) errechnet und in den Abb. 12 und 13 aufgetragen.

Um die Größtwerte der Momente M_v und M_d zu erhalten, müssen innerhalb der positiven Einflußflächen rechtsdrehende und innerhalb der negativen Einflußflächen linksdrehende Lasten M aufgebracht werden. Hier, wo es sich um die Ermittlung der Zusatzspannungen infolge quereinseitiger Fahrbahnbelastung handelt, sind die senkrechten Lasten, durch



Längenschnitt. Abb. 9. Ansicht.

deren Verschiebung aus der Fahrbahnmitte gemäß Abb. 2 die Momente M entstehen, innerhalb der positiven Einflußflächen auf der rechten Brückenseite und innerhalb der negativen Einflußflächen auf der linken Brückenseite zu lagern (vgl. Abb. 14). Ist mehr als eine Belastungsscheide vorhanden, so ist eine derartige Lastverteilung zwar ziemlich unwahr-

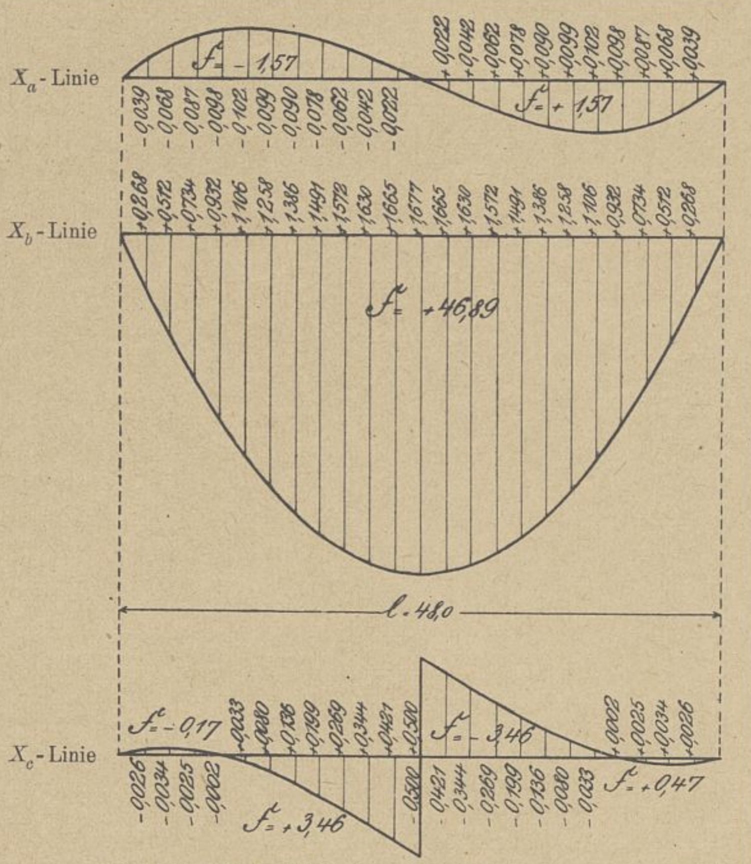


Abb. 11. Einflußlinien der statisch Unbestimmten X_a, X_b, X_c infolge $M = 1$ t.

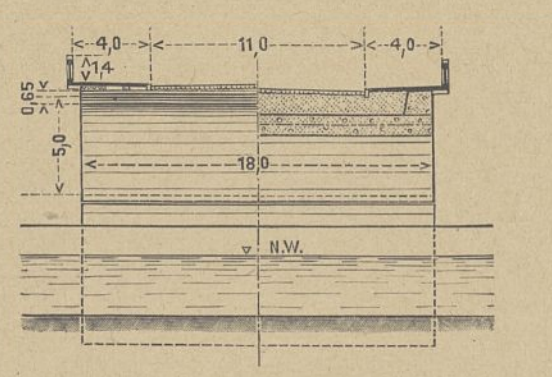


Abb. 10. Querschnitt.

scheinlich, aber immerhin nicht ganz unmöglich. Die Brücke wird in ihrer ganzen Länge nur auf die halbe Breite, also nur mit der halben Verkehrslast belastet; die Lasten sind jedoch nicht in der Mitte der Fahrbahn aufgebracht, sondern teils auf der linken und teils auf der rechten Gewölbeseite. Die Größtwerte der Momente M_v und M_d treffen daher niemals mit den Größtwerten der Momente M_u (vgl. Abb. 7) zusammen, da nur die halbe Verkehrslast vorhanden ist.

Abb. 14.

Die Untersuchung der vorliegenden Brücke ist für eine gleichmäßig verteilte Verkehrslast von $p = 700$ kg/qm durchgeführt, da sie mit schweren Straßenbahnen und schwerem städtischen Fuhrwerk befahren wird. Für die Ermittlung der Zusatzspannungen infolge quereinseitiger Belastung sind mit Rücksicht auf die entlastende Wirkung der Überschüttung nur 500 kg/qm Verkehrslast angenommen, so daß man gemäß Abb. 14 $M = 9{,}5 \cdot 0{,}5 \cdot 4{,}75 = 22{,}56$ tm auf 1 m Brückenlänge erhält.

	M_v						M_d						
x	$\mathfrak{F}_+$	$\mathfrak{F}_-$	$\mathfrak{F}_+ - \mathfrak{F}_-$	tm M_v	m⁴ J_v	kg/qcm σ_v	$\mathfrak{F}_+$	$\mathfrak{F}_-$	$\mathfrak{F}_+ - \mathfrak{F}_-$	tm M_d	m⁴ J_u	m h	kg/qcm τ_{max}
Kämpter 0,0	16,95	75,91	92,86	2090	434	4,3	4,08	4,68	8,76	198	0,972	0,80	6,1
6,0	8,91	65,49	74,40	1680	506	3,0	1,96	3,10	5,06	114	1,589	0,95	2,6
Bruchfuge 12,0	2,44	55,39	57,83	1303	531	2,2	3,47	4,46	7,93	179	1,836	1,00	3,7
18,0	—	53,82	53,82	1212	473	2,3	3,71	4,21	7,92	179	1,188	0,82	4,6
Scheitel 24,0	—	46,89	46,89	1058	390	2,4	3,63	3,63	7,26	164	0,620	0,65	6,4

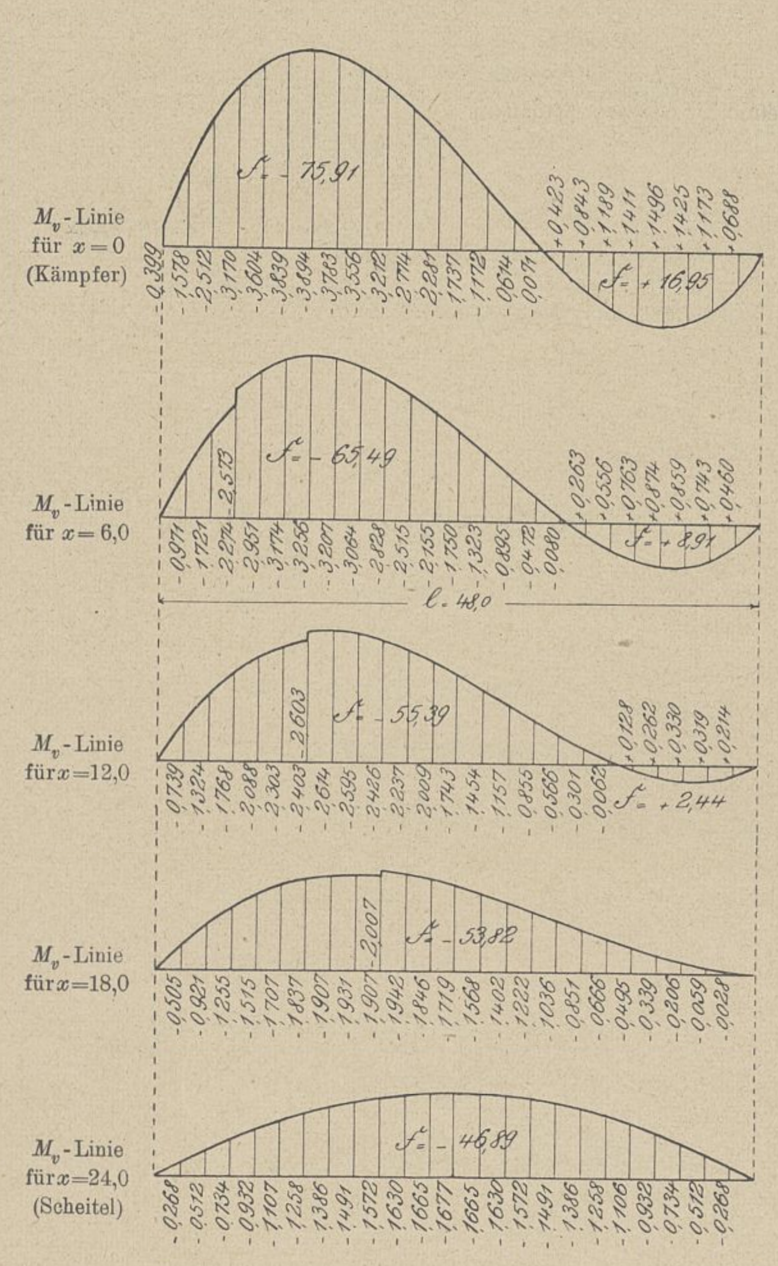


Abb. 12. Einflußlinien der Biegungsmomente M_v infolge $M=1$ t.

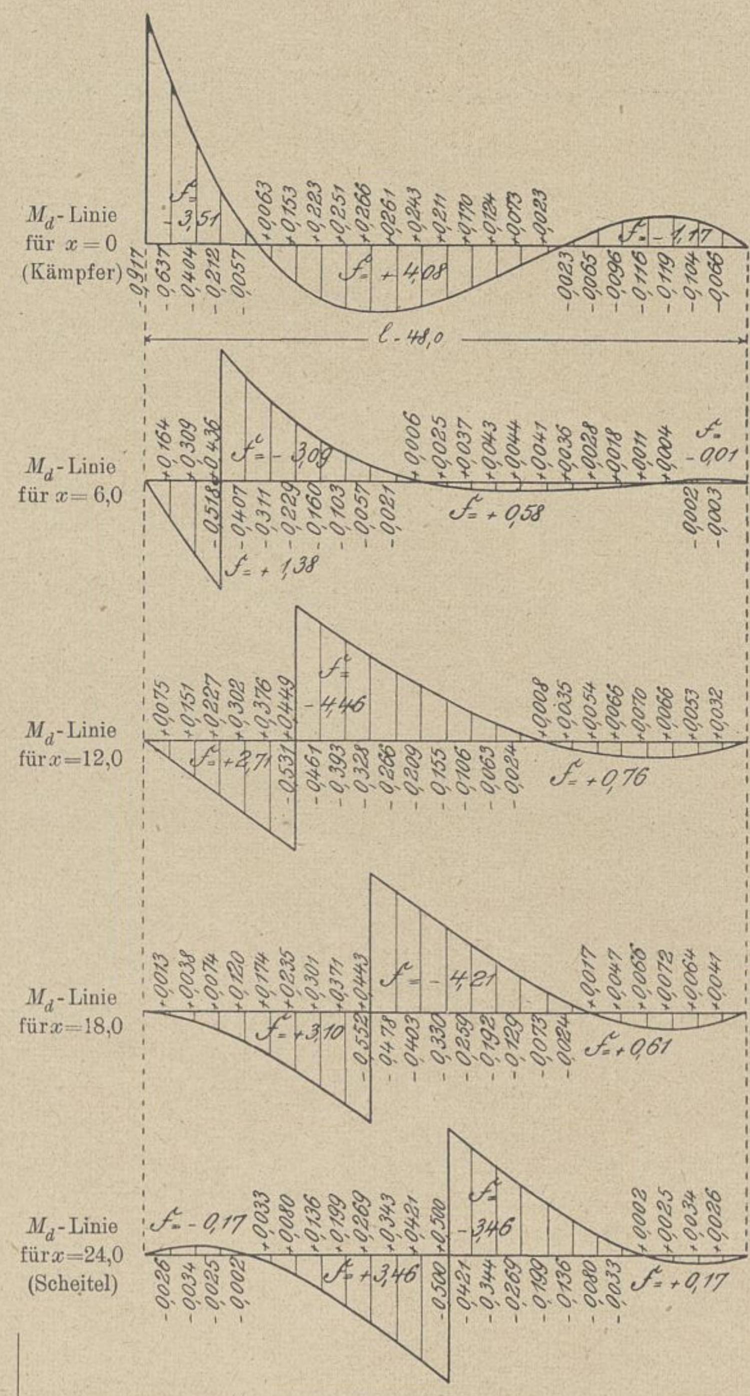


Abb. 13. Einflußlinien der Drehmomente M_d infolge $M=1$ t.

In der vorstehenden Zusammenstellung sind für die fünf Querschnitte, für die die Einflußlinien der Momente M_v und M_d berechnet sind, die Größen der Einflußflächen $\mathfrak{F}$ angegeben und aus ihnen die Größtwerte der Momente M_v und M_d unter Annahme des obigen Wertes $M = 22{,}56$ tm ermittelt. Den Momenten M_v entsprechen die Biegungsspannungen $\sigma_v = \frac{M_v \cdot 9{,}0}{J_v}$. Die größten Schubspannungen unter dem Einflusse der Momente M_d entstehen in den Mitten der oberen und unteren Leibung; sie haben den Wert $\tau_{\max} = \frac{3}{8} \cdot \frac{M_d \cdot h}{J_u}$, wenn h die Bogenstärke bedeutet.

Die Zusammenstellung zeigt, daß die Biegungsspannungen σ_v unerheblich sind, zumal wenn man berücksichtigt, daß die Festigkeit des Gewölbes nicht ausgenutzt ist, da nur die halbe Verkehrslast aufgebracht ist. Die Schubspannungen $\tau_{\max}$ überschreiten im Kämpfer und im Scheitel die für Beton zugelassene Beanspruchung; die Notwendigkeit einer ausreichenden Querbewehrung ist erwiesen. Die größte Schubspannung tritt im Scheitel auf.

Nach Untersuchung des Einflusses von Lasten M soll jetzt eine Belastung durch wagerechte Kräfte W verfolgt werden. Die Gleichungen 13 ergeben die Beiwerte δ_{ma}, δ_{mb} und δ_{mc}, aus denen dann nach den Gleichungen 14 die Einflußlinien der statisch Unbestimmten X_a, X_b und X_c zusammengestellt und in der Abb. 15 aufgetragen sind. Weitere Einflußlinien sind entbehrlich und insbesondere für den Nachweis der Beanspruchungen infolge Winddrucks nicht erforderlich. Die große Breite der Brücke läßt ohne weiteres den Schluß zu, daß durch Winddruck senkrecht zu den Stirnflächen nur ganz unbedeutende Spannungen hervorgerufen werden; sie sollen aber ermittelt werden, um weitere Schlußfolgerungen ziehen zu können.

Durch den Winddruck wird nicht nur die Stirnfläche des eigentlichen Gewölbes, sondern auch die darüber liegende Ansichtsfläche betroffen. Es treten also, wenn man sich

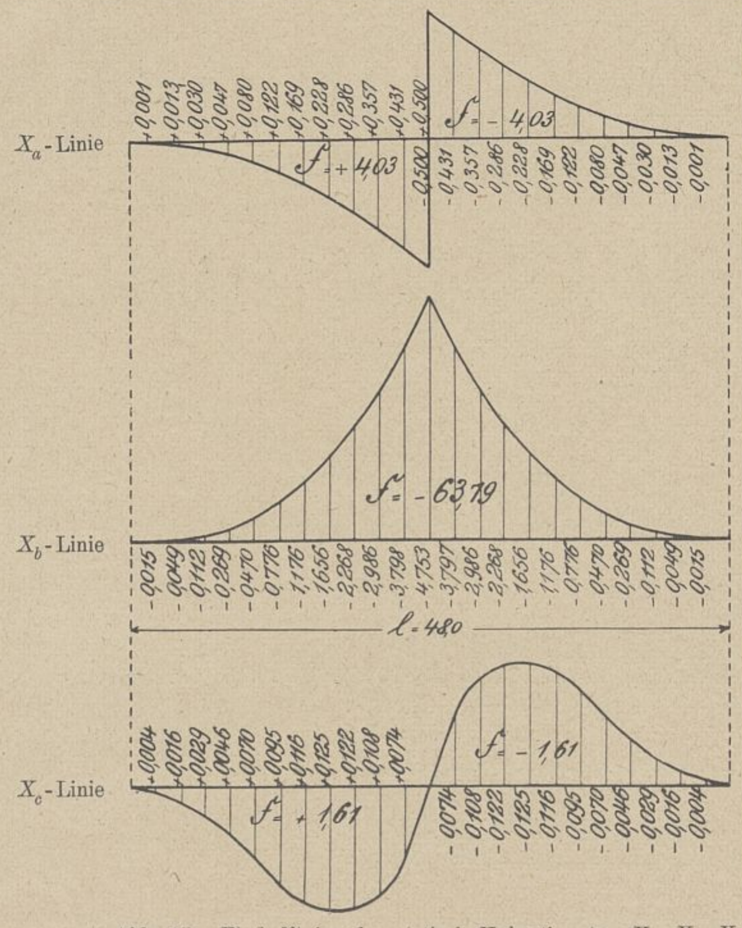


Abb. 15. Einflußlinien der statisch Unbestimmten X_a, X_b, X_c infolge $W = 1$ t.

sämtliche wagerechten Windlasten nach der Bogenachse verlegt denkt, außer den Kräften W noch Momente $M = W' \cdot e'$ gemäß Abb. 5 auf. Der Einfluß beider Lastengruppen muß getrennt untersucht werden. Die Einflußlinien der statisch Unbestimmten X_a, X_b und X_c in den Abb. 11 u. 15 zeigen, daß bei der vorliegenden symmetrischen Belastung X_a und X_c gleich Null werden und daß nur X_b ermittelt zu werden braucht. Da die Einflußlinien bereits vorhanden sind, sollen sie zur Berechnung von X_b benutzt werden.

und infolge der Lasten M

$$X_b = + 57{,}6 \text{ tm}$$

gefunden worden, so daß im ganzen

$$X_b = + 12{,}9 \text{ tm}$$

wird. Es überrascht zu sehen, daß der Einfluß der Momente M ausreicht, um das infolge der Lasten W entstandene negative Moment X_b in ein positives Moment zu verwandeln. Dies ist dadurch zu erklären, daß der Anteil der Verdrehungsarbeit an der ganzen Formänderungsarbeit ein sehr bedeutender ist. Vielleicht ist auch der hier eingesetzte Ausdruck für die Größe des Verdrehungswinkels $\vartheta = \zeta \cdot \frac{J_u + J_v}{4 \cdot J_u \cdot J_v} \cdot \frac{M_d}{G}$ bei den vorliegenden großen Querschnitten nicht mehr ganz zutreffend, wie bereits weiter oben angedeutet ist.

Als Winddruck sind 250 kg/qm eingeführt worden, so daß sich bei einer Ansichtsfläche von 186,4 qm ein Winddruck von 46,6 t auf die ganze Brücke ergibt.

Die größten Beanspruchungen treten im Kämpfer auf, bei dem gemäß Gleichung 2

$$M_v = - \sin \varphi_0 \cdot \Sigma M - \Sigma W \cdot o - X_b \cdot \cos \varphi_0$$

und gemäß Gleichung 4

$$M_d = - \cos \varphi_0 \cdot \Sigma M + \Sigma W \cdot m + X_b \cdot \sin \varphi_0.$$

Setzt man die Zahlenwerte ein, wobei zu beachten ist daß die ΣM, $\Sigma W \cdot o$ und $\Sigma W \cdot m$ sich nur über den halben Bogen erstrecken dürfen, so findet man

$$\Sigma M = + 39{,}8 \text{ tm},$$

$$- \Sigma W \cdot o = - 235{,}1 \text{ tm} \quad \text{und} \quad + \Sigma W \cdot m = + 29{,}9 \text{ tm},$$

so daß

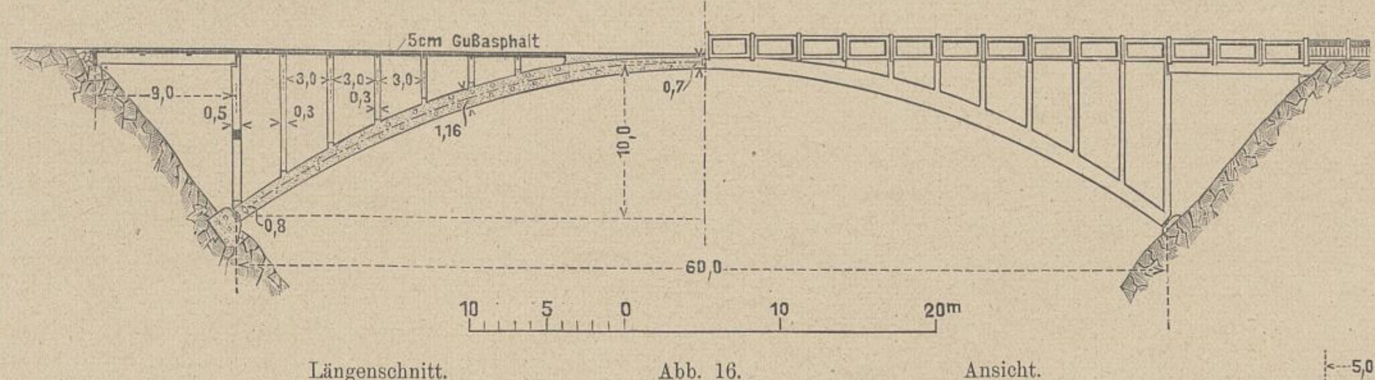
$$M_v = - 0{,}3993 \cdot 39{,}8 - 235{,}1 - 0{,}9168 \cdot 12{,}9 = - 262{,}8 \text{ tm}$$

und $M_d = - 0{,}9168 \cdot 39{,}8 + 29{,}9 + 0{,}3993 \cdot 12{,}0 = - 1{,}4$ tm werden. Die entsprechenden Beanspruchungen ermitteln sich zu

$$\sigma_v = 0{,}57 \text{ kg/qcm} \quad \text{und} \quad \tau_{\max} = 0{,}05 \text{ kg/qcm};$$

sie sind, wie vorauszusehen, ganz unerheblich.

Da der gesamte Winddruck auf die Brücke 46,6 t beträgt, ist das Kämpfermoment M_v annähernd $= \frac{\Sigma W \cdot l}{8{,}5}$.



Längenschnitt. Abb. 16. Ansicht.

Zu diesem Zweck ist die gesamte aus Gewölbestirn, Stirnmauer und Brüstung bestehende Ansichtsfläche in 2 m breite, senkrechte Streifen zerlegt worden, und für jeden derselben sind der Winddruck W und sein Moment M in bezug auf die Bogenachse ermittelt worden. Durch Multiplikation der Lasten W und M mit den entsprechenden Ordinaten der dazu gehörigen X_b-Linie ist infolge der Lasten W

$$X_b = - 44{,}7 \text{ tm}$$

Zweites Beispiel.

Als Gegenstück zu der schweren, breiten Straßenbrücke des ersten Beispiels soll im folgenden eine leichte, schmale Fußgängerbrücke untersucht werden; sie ist in den Abb. 16 u. 17 dargestellt. Es ist wiederum ein Dreigelenkbogen, der ein tief eingeschnittenes Tal überbrückt und dessen Spannweite

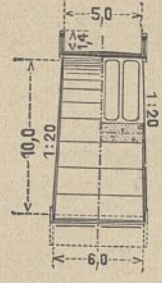


Abb. 17. Querschnitt.

60 m bei einer Pfeilhöhe von 10 m beträgt. Die Fahrbahn hat eine nutzbare Breite von 5 m. Die Eisenbetonplatte, welche die Fahrbahn trägt, stüzt sich mittels leichter Eisenbetonsäulen auf das Gewölbe. Die Breite des Gewölbes vergrößert sich von 5 m im Scheitel auf 6 m an den Kämpfern. Als Verkehrslast sind 500 kg/qm eingeführt; der Bogen ist so bemessen, daß die zugelassene Druckbeanspruchung von 30 kg/qcm nicht überschritten, aber anderseits auch nach Möglichkeit ausgenutzt wird. Die Gewölbestärke ist im Scheitel 0,70 m, in der Bruchfuge 1,16 m und am Kämpfer 0,80 m.

Zur Untersuchung der auftretenden Zusatzspannungen infolge quereinseitiger Fahrbahnbelastung und infolge Winddrucks wird die gegebene Bogenachse durch einen Kreisbogen ersetzt, dessen Halbmesser sich aus der Spannweite $l = 60{,}0$ m und der Pfeilhöhe $f = 10{,}0$ m zu $r = 50{,}0$ m ergibt, so daß

$$\sin\varphi_0 = \frac{30}{50} = 0{,}6000 \quad \text{und} \quad \cos\varphi_0 = \frac{40}{50} = 0{,}8000$$

wird, während man für φ_0

$$\varphi_0 = 0{,}6435$$

findet. Die mittleren Trägheitsmomente sind zu

$$J_u = 0{,}447 \text{ m}^4 \quad \text{und} \quad J_v = 12{,}50 \text{ m}^4$$

ermittelt worden, so daß

$$\frac{J_v}{J_u} = 27{,}9 \quad \text{und} \quad 0{,}3\frac{E}{G}\left(1 + \frac{J_v}{J_u}\right) = 22{,}6$$

werden, wenn wieder $\frac{E}{G} = 2{,}6$ gesetzt wird.

Mit diesen Zahlen ergeben die Gleichungen 11 folgende Beiwerte der statisch Unbestimmten X_a, X_b und X_c:

$$\delta_{aa} = +0{,}4008\frac{r^3}{E\cdot J_v}, \qquad \delta_{cc} = +25{,}5546\frac{r}{E\cdot J_v},$$

$$\delta_{bb} = +4{,}8186\frac{r}{E\cdot J_v}, \qquad \delta_{ac} = -\,1{,}5654\frac{r^2}{E\cdot J_v}.$$

Die Nennerdeterminante N wird

$$N = \delta_{aa}\cdot\delta_{cc} - \delta_{ac^2} = 7{,}7918\frac{r^4}{(E\cdot J_v)^2}.$$

Für eine Belastung durch äußere Momente M sind mittels der Gleichungen 12 und 14 und unter Verwendung der obigen Zahlenwerte die Einflußlinien der statisch Unbestimmten X_a, X_b und X_c errechnet und in der Abb. 18 aufgetragen. Weiterhin sind unter Verwertung der Gleichungen 2 und 4 die Einflußlinien der Momente M_v und M_d für den Kämpfer, die Bruchfuge und den Scheitel ermittelt und in den Abb. 19 u. 20 dargestellt. Die Größen der Einflußordinaten und der

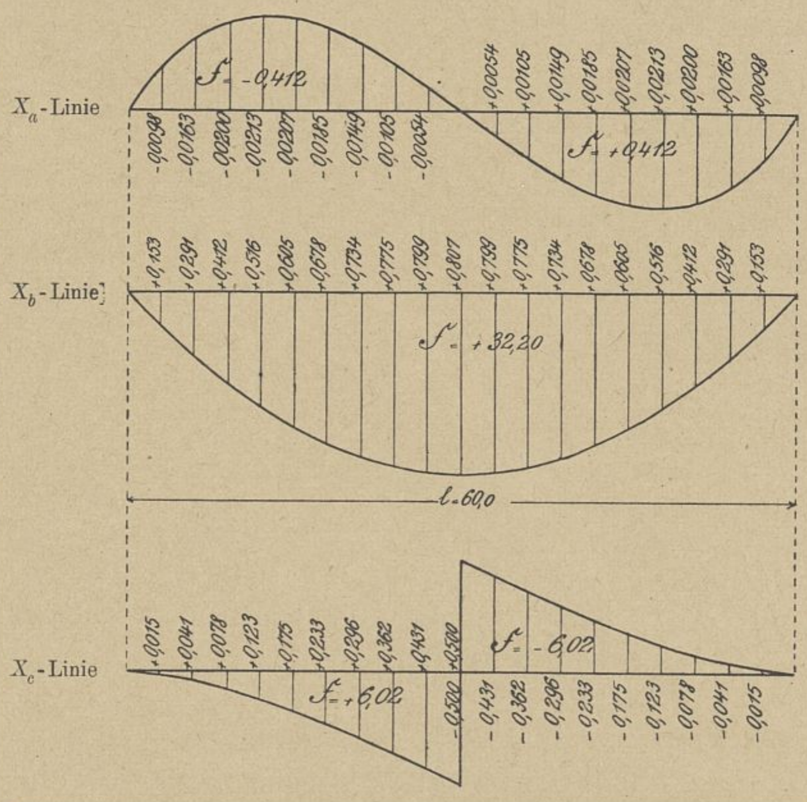


Abb. 18. Einflußlinien der statisch Unbestimmten X_a, X_b, X_c infolge $M = 1$ t.

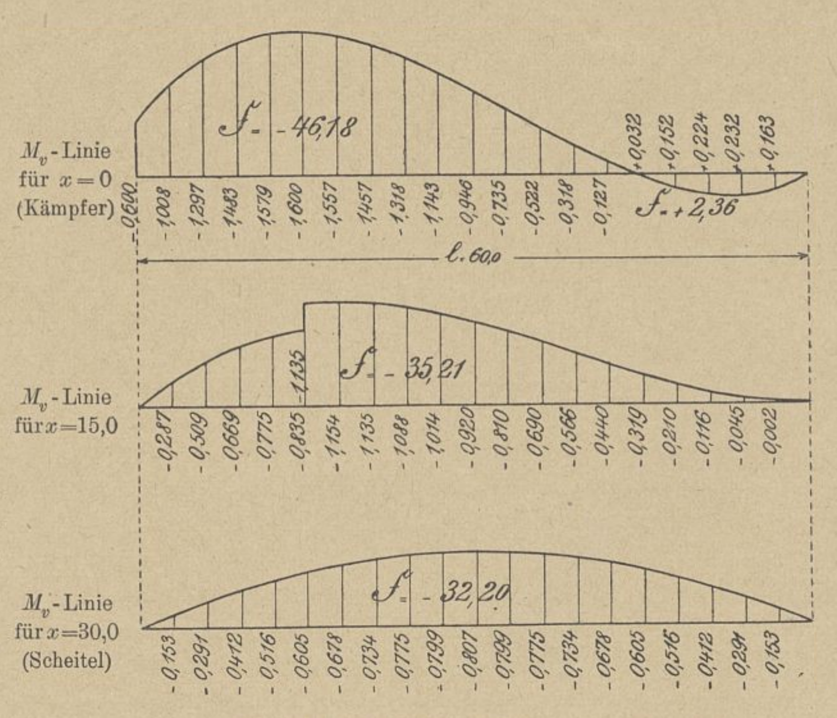


Abb. 19. Einflußlinien der Biegungsmomente M_v infolge $M = 1$ t.

	M_v						M_d						
x	$\mathfrak{F}_+$	$\mathfrak{F}_-$	$\mathfrak{F}_+ - \mathfrak{F}_-$	tm M_v	m³ W_v	kg/qcm σ_v	$\mathfrak{F}_+$	$\mathfrak{F}_-$	$\mathfrak{F}_+ - \mathfrak{F}_-$	tm M_d	m⁴ J_u	m h	kg/qcm τ_{max}
Kämpfer 0,0	2,36	46,18	48,54	76,0	4,80	1,65	1,49	6,19	7,68	12,0	0,256	0,80	1,4
Bruchfuge 15,0	—	35,21	35,21	55,0	5,29	1,04	3,10	7,75	10,85	17,0	0,681	1,16	1,1
Scheitel 30,0	—	32,20	32,20	50,3	2,92	1,72	6,02	6,02	12,04	18,8	0,143	0,70	3,5

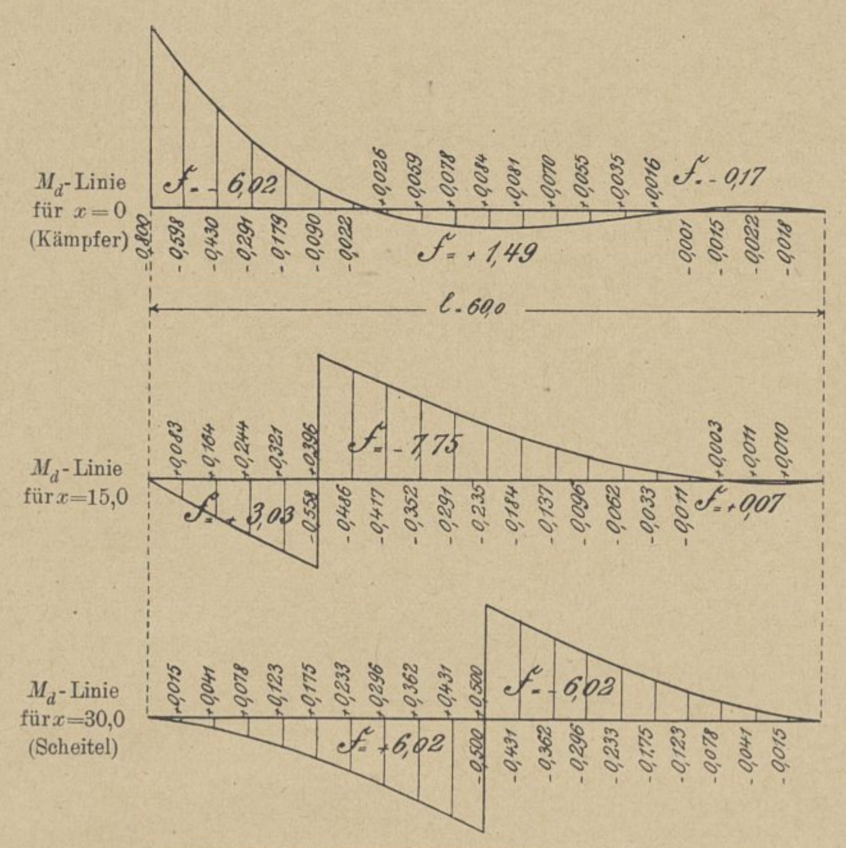


Abb. 20. Einflußlinien der Drehmomente M_d infolge $M = 1$ t.

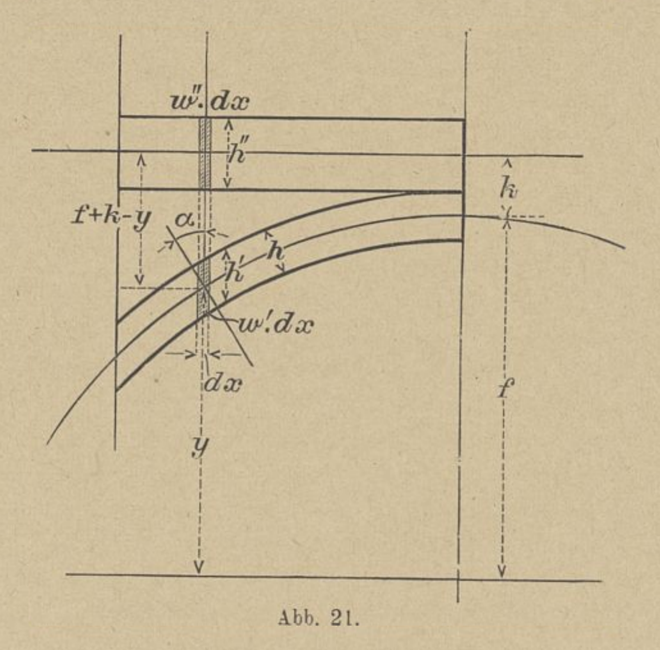


Abb. 21.

Einflußflächen sind in den Abbildungen angegeben. Belastet man wiederum innerhalb der positiven Einflußflächen die rechte Brückenseite und innerhalb der negativen Einflußflächen die linke Brückenseite mit einer gleichmäßigen Last von 500 kg/qm, so wird auf 1 m Brückenlänge

$$M = 2{,}50 \cdot 1{,}25 \cdot 0{,}5 = 1{,}56 \text{ tm}.$$

Mit diesem Werte sind in der nebenstehenden Zusammenstellung aus den Einflußflächen $\mathfrak{F}$ die Größtwerte der Momente M_v und M_d und die sich hieraus ergebenden Spannungen σ_v und $\tau_{\max}$ berechnet worden.

Die Zusammenstellung zeigt, daß die Biegungsspannungen σ_v ohne weiteres vernachlässigt werden können und daß auch die größten Schubspannungen τ, die in den Mitten der oberen und unteren Leibung auftreten, sich innerhalb der zulässigen Grenzen halten. Den höchsten Wert erreicht die Schubspannung τ im Scheitel mit 3,5 kg/qcm.

Die verhältnismäßig geringe Beanspruchung der Brücke mit nur 30 kg/qcm würde ohne weiteres gestatten, die Fahrbahn auf jeder Seite um 1 m auszukragen und ihre nutzbare Breite auf 7 m zu vergrößern. In diesem Falle würde

$$M = 3{,}5 \cdot 1{,}75 \cdot 0{,}5 = 3{,}06 \text{ tm}$$

je Meter Brückenlänge werden, und die größte Schubspannung im Scheitel würde sich von $\tau = 3{,}5$ kg/qcm auf $\tau = 6{,}8$ kg/qcm erhöhen. — Bei Winddruck auf eine Brückenstirn werden infolge der symmetrischen Belastung X_a und X_c gleich Null; X_b soll bei diesem Beispiele nicht mittels der Einflußlinien, sondern durch unmittelbare Integration der Ausdrücke für δ_{mb} bestimmt werden. Die Abb. 21 stellt einen Teil der dem Winddruck ausgesetzten Ansichtsfläche dar, die aus dem Bogen von der senkrechten Höhe h', sowie der Fahrbahn und der Brüstung von der Höhe h'' besteht. Der auf die dünnen, nur 30 cm starken Eisenbetonsäulen entfallende Winddruck wird vernachlässigt. Auf die Länge dx sei bei dem Bogen ein Winddruck von der Größe $w' \cdot dx$ und bei der Fahrbahn und dem Geländer ein solcher von der Größe $w'' \cdot dx$ wirksam. Der wagerechte Winddruck innerhalb eines senkrechten Streifens von der Länge dx wird somit $dW = (w' + w'') \cdot dx$, und das Moment in bezug auf die Bogenachse wird

$$dM = w'' \cdot (f + k - y) \cdot dx,$$

wo k das Maß angibt, um das sich die Mittellinie der Ansichtsfläche von Fahrbahn und Geländer über den Scheitel erhebt.

Bezeichnet man mit p den Winddruck auf die Flächeneinheit und beachtet, daß $dx = -r \cdot \cos\alpha \cdot d\alpha$, so wird

$$dW = -r \cdot p \cdot (h' + h'') \cdot \cos\alpha \cdot d\alpha$$

und $$dM = -r \cdot p \cdot h'' \, (r - r \cdot \cos\alpha + k) \cdot \cos\alpha \cdot d\alpha.$$

h' und h'' können hierin als unveränderlich angesehen werden.

Zunächst wird der Einfluß der wagerechten Kräfte W auf die Größe von X_b verfolgt.

Nach Gleichung 14 wird $X_b^W = -\dfrac{\delta_{mb}}{\delta_{bb}} \cdot W$, so daß hier

$$X_b^W = \frac{2 \cdot r \cdot p \cdot (h' + h'')}{\delta_{bb}} \int_{+\varphi_0}^{0} \delta_{mb} \cdot \cos\alpha \cdot d\alpha,$$

wo für δ_{mb} der Wert aus Gleichung 13 zu entnehmen ist. Die Auswertung des Integrales bereitet keine Schwierigkeiten. Setzt man $0{,}3 \dfrac{E}{G}\left(1 + \dfrac{J_v}{J_u}\right) = \psi$ und führt für δ_{bb} den Wert aus Gleichung 11 ein, so findet man schließlich

$$X_b^W = \frac{r^2 \cdot p \cdot (h' + h'')}{4} \cdot \frac{\varphi_0 - \sin\varphi_0 \cdot \cos\varphi_0 - 2\,\varphi_0 \cdot \sin^2\varphi_0 + \psi\left[2\,\varphi_0 \cdot \sin^2\varphi_0 - 3\,(\varphi_0 - \sin\varphi_0 \cdot \cos\varphi_0)\right]}{\varphi_0 + \sin\varphi_0 \cdot \cos\varphi_0 + \psi\,(\varphi_0 - \sin\varphi_0 \cdot \cos\varphi_0)}.$$

Da $h' = 1{,}10$ m im Mittel und $h'' = 1{,}60$ m, wird mit $p = 0{,}25$ t/qm

$$X_b^W = -80{,}0 \text{ tm}.$$

Ohne Berücksichtigung der Verdrehungsarbeit würde man

$$X_b^W = -112{,}4 \text{ tm}$$

erhalten. Würde man den Einfluß der Biegungsarbeit ver-

nachlässigen und allein mit der Verdrehungsarbeit rechnen, so würde sich ergeben:

$$X_b^W = -70{,}1 \text{ tm}.$$

Bei einem beiderseits eingespannten Balken wird bei einer gleichmäßig verteilten Auflast von

$$P = 60 \cdot (1{,}10 + 1{,}60) \cdot 0{,}25 = 40{,}5 \text{ t}$$

das Moment in der Balkenmitte gleich

$$-\frac{40{,}5 \cdot 60}{24} = -101{,}25 \text{ tm}.$$

Es bleibt noch der Anteil der Momente M an der Größe von X_b festzustellen. Nach Gleichung 12 ist

$$\delta_{mb} = -\frac{r}{2\,E \cdot J_v} \cdot (\sin^2 \varphi_0 - \sin^2 \alpha) \cdot (\psi - 1),$$

so daß

$$X_b^M = -\frac{r^2 \cdot p \cdot h'' \cdot (\psi - 1)}{E \cdot J_v \cdot \delta_{bb}} \int_{+\varphi_0}^{0} (\sin^2 \varphi_0 - \sin^2 \alpha) \cdot (r + k - r \cdot \cos \alpha) \cdot \cos \alpha \cdot d\,\alpha.$$

Die Durchführung der Integration ergibt, wenn man noch den Wert für δ_{bb} aus Gleichung 11 einsetzt,

$$X_b^M = r \cdot p \cdot h'' \cdot (\psi - 1) \frac{\frac{2}{3}(r+k) \cdot \sin^3 \varphi_0 - \frac{r}{8}\left[2 \sin^2 \varphi_0 \,(2\,\varphi_0 + \sin \varphi_0 \cdot \cos \varphi_0) - (\varphi_0 - \sin \varphi_0 \cdot \cos \varphi_0)\right]}{\varphi_0 + \sin \varphi_0 \cdot \cos \varphi_0 + \psi\,(\varphi_0 - \sin \varphi_0 \cdot \cos \varphi_0)}$$

Da $k = 0{,}80 + 0{,}35 = 1{,}15$ m ist, wird mit $p = 0{,}25$ t/qm hieraus

$$X_b^M = +39{,}1 \text{ tm}$$

gefunden. Ohne Berücksichtigung der Verdrehungsarbeit würde man

$$X_b^M = +7{,}75 \text{ tm}$$

erhalten. Die Vernachlässigung der Biegungsarbeit und die alleinige Berücksichtigung der Verdrehungsarbeit würde für X_b^M den Wert $+53{,}4$ tm ergeben.

Im ganzen wird

$$X_b = X_b^W + X_b^M = -80{,}0 + 39{,}1 = -40{,}9 \text{ tm}.$$

Würde man die Verdrehungsarbeit außer acht lassen und allein die Biegungsarbeit in Rechnung stellen, so würde

$$X_b = -112{,}4 + 7{,}8 = -104{,}6 \text{ tm},$$

und umgekehrt würde

$$X_b = -70{,}1 + 53{,}4 = -16{,}7 \text{ tm},$$

wenn man allein die Verdrehungsarbeit berücksichtigte.

Man ersieht hieraus, daß man zu ganz falschen Ergebnissen kommt, wenn man die Verdrehungsarbeit vernachlässigt.

Infolge des Momentes $X_b = -40{,}9$ tm entsteht im Scheitel eine Biegungsspannung

$$\sigma_v = \frac{40{,}9 \cdot 6}{0{,}70 \cdot 5{,}0 \cdot 5{,}0} = 1{,}4 \text{ kg/qcm}.$$

Für den Kämpfer wird

$$M_v = -\int_{+\varphi_0}^{0} d\,W \cdot o - \sin \varphi_0 \int_{+\varphi_0}^{0} d\,M - X_b \cdot \cos \varphi_0$$

und

$$M_d = +\int_{+\varphi_0}^{0} d\,W \cdot m - \cos \varphi_0 \int_{+\varphi_0}^{0} d\,M + X_b \cdot \sin \varphi_0.$$

Mit den obigen Werten für $d\,W$ und $d\,M$ und mit

$$o = r \cdot \sin(\varphi_0 - \alpha) \quad \text{und} \quad m = r - r \cdot \cos(\varphi_0 - \alpha)$$

wird nach Durchführung der Integrationen und Einsetzen der Zahlenwerte

$$M_v = -325 \text{ tm} \quad \text{und} \quad M_d = +5{,}7 \text{ tm}.$$

Die entsprechenden Spannungen sind

$$\sigma_v = \frac{325 \cdot 6}{0{,}8 \cdot 6{,}0 \cdot 6{,}0} = 6{,}8 \text{ kg/qcm}$$

und

$$\tau_{\max} = \frac{3}{8} \cdot \frac{5{,}7 \cdot 0{,}80 \cdot 12}{6{,}0 \cdot 0{,}8^3} = 0{,}67 \text{ kg/qcm}.$$

Die infolge des Drehmomentes M_d auftretende Schubspannung $\tau_{\max}$ ist unbedeutend; die Biegungsspannung σ_v ist ziemlich erheblich und wird berücksichtigt werden müssen.

Der gesamte Winddruck auf eine Stirnfläche ist oben bereits zu $\Sigma W = 60 \cdot (1{,}10 + 1{,}60) \cdot 0{,}25 = 40{,}5$ t festgestellt. Das Kämpfermoment M_v ist daher annähernd $= \frac{\Sigma W \cdot l}{7{,}5}$.

Schlußfolgerungen.

In den beiden Beispielen sind zwei ganz verschiedene Brückenarten, und zwar eine breite, schwere Straßenbrücke und eine schmale, leichte Fußgängerbrücke, behandelt. Die Ergebnisse der Rechnung lassen einige allgemeine Schlußfolgerungen über die Größe der Zusatzspannungen infolge quereinseitiger Fahrbahnbelastung und infolge Winddrucks zu.

Wird die auf der Fahrbahn aufgebrachte Belastung aus der Mittelebene heraus nach den Stirnflächen zu verschoben, so daß als äußere Lasten in Querschnitten senkrecht zur Mittelebene die Zusatzmomente M hinzutreten, so lassen diese im Innern des Querschnittes die Biegungsmomente M_v und die Drehmomente M_d entstehen. Die Biegungsmomente M_v und die durch sie hervorgerufenen Spannungen σ_v sind selbst bei ungünstigster Laststellung so unbedeutend, daß ihr rechnerischer Nachweis sich erübrigt. Die Drehmomente M_d haben Schubspannungen τ zur Folge, die namentlich bei breiteren Brücken die zulässige Schubbeanspruchung des Betons überschreiten können und deren rechnerischer Nachweis erwünschst ist. Ihren höchsten Betrag erreichen die Schubspannungen am Scheitel, in der Mitte der oberen und unteren Leibung; die ungünstigste Laststellung zeigt die Abb. 3 im Grundriß, wo beide Brückenhälften nur einseitig, jedoch auf verschiedenen Seiten belastet sind. Ist bei der M_d-Linie für den Scheitelquerschnitt noch in der Nähe des Kämpfers eine Lastscheide wie in dem ersten Beispiel vorhanden, so kann diese, wie Abb. 13 erkennen läßt, außer acht gelassen werden. In dem Scheitel ist $M_d = X_c$; die M_d-Linie deckt sich mit der X_c-Linie. Durch Integration der X_c-Fläche kann daher ein geschlossener Ausdruck entwickelt werden, der es gestattet, bei gleichmäßig über die Länge der Brücke verteilten Zusatzmomenten M die Größe des im Scheitelquerschnitt wirksamen Drehmomentes M_d ohne weitere Zwischenrechnungen sofort auszuwerten und hieraus die größte Schubspannung τ zu ermitteln. Die Voraussetzung, daß die Lasten M gleichmäßig über die Brückenlänge verteilt sind, ist bei einer gleichmäßig aufgebrachten Verkehrslast ohne weiteres erfüllt, aber auch dann gegeben, wenn mit einer Wagenreihe bei einer Eisenbahnbrücke oder Straßenbrücke gerechnet wird. Die Lasten M sind ohne Vorzeichen einzuführen, da auch die X_c-Linie in der Mitte das Vorzeichen wechselt und da die X_c-Fläche zwischen beiden Kämpfern ohne Rücksicht auf das Vorzeichen integriert wird.

Setzt man in den Gleichungen 12

$$\varphi_0 + \sin\varphi_0 \cdot \cos\varphi_0 - (\alpha + \sin\alpha \cdot \cos\alpha) = C,$$

$$\varphi_0 - \sin\varphi_0 \cdot \cos\varphi_0 - (\alpha - \sin\alpha \cdot \cos\alpha) = D$$

und

$$0{,}3\,\frac{E}{G}\left(1 + \frac{J_v}{J_u}\right) = \psi,$$

so wird

$$\delta_{ma} = \frac{r^2}{2\,E \cdot J_v}\left[-D + \psi\,(2\sin\varphi_0 - 2\sin\alpha - C)\right]$$

und

$$\delta_{mc} = -\frac{r}{2\,E \cdot J_v}\left[D + \psi\,C\right].$$

Aus Gleichung 14 erhält man, wenn man die Nennerdeterminante mit N bezeichnet,

$$X_c = \frac{r}{2 \cdot E \cdot J_v \cdot N}\left[(\delta_{aa} - r \cdot \delta_{ac})(D + \psi \cdot C) + 2 \cdot r \cdot \psi \cdot \delta_{ac}(\sin\varphi_0 - \sin\alpha)\right]$$

Bedeutet $\mathfrak{F}$ den Inhalt der X_c-Fläche zwischen den beiden Kämpfern, so gilt:

$$\mathfrak{F} = 2 \cdot \int_0^{\frac{l}{2}} X_c \cdot dx, \quad \text{wo} \quad dx = -r \cdot \cos\alpha \cdot d\alpha.$$

Die Integration ergibt:

$$\mathfrak{F} = \frac{r^2}{E \cdot J_v \cdot N}\left\{\tfrac{2}{3}\left[\delta_{aa} - r \cdot \delta_{ac}\right] \cdot \left[2 + \psi - 3\cos\varphi_0 - \cos^3\varphi_0\,(\psi - 1)\right] + \psi \cdot r \cdot \sin^2\varphi_0 \cdot \delta_{ac}\right\}.$$

Es wird daher für den Scheitelquerschnitt bei einer Belastung gemäß Abb. 3 das Drehmoment

$$15)\qquad M_d = \frac{\tfrac{2}{3}\left[\delta_{aa} - r \cdot \delta_{ac}\right] \cdot \left[2 + \psi - 3\cos\varphi_0 - \cos^3\varphi_0\,(\psi - 1)\right] + \psi \cdot r \cdot \sin^2\varphi_0 \cdot \delta_{ac}}{E \cdot J_v\,(\delta_{aa} \cdot \delta_{cc} - \delta_{ac}^2)}\,r^2 \cdot M,$$

wo wie bisher

M die Größe des Zusatzmomentes auf die Längeneinheit,

r den Radius des Kreisbogens von der Spannweite l und der Pfeilhöhe f und

φ_0 den Mittelpunktswinkel des halben Bogens $= \arcsin \frac{l}{2r}$ bedeuten,

$\psi = 0{,}3\,\frac{E}{G}\left(1 + \frac{J_v}{J_u}\right)$ ist und

δ_{aa}, δ_{cc} und δ_{ac} den Gleichungen 11 zu entnehmen sind.

E ist das Elastizitätsmaß, G das Gleitmaß, J_u und J_v sind die den Querschnittshauptachsen u und v (vgl. Abb. 6) zugeordneten Trägheitsmomente.

Aus Gleichung 15 findet man die größte Schubspannung

$$\tau_{\max} = \frac{3}{8} \cdot \frac{M_d \cdot h}{J_u},$$

wenn mit h die Bogenstärke im Scheitel bezeichnet wird.

Mittels Gleichung 15 ist es möglich, ohne großen Rechenaufwand und unter Vermeidung sämtlicher Zwischenrechnungen die größte Zusatzspannung infolge quereinseitiger Fahrbahnbelastung bei jeder Brücke schnell zu ermitteln.

Bei Brücken mit kleinem Pfeilverhältnis hat man häufig den sonst vollen Gewölbequerschnitt am Scheitel in Rippen aufgelöst, um dort an Gewicht zu sparen und eine flachere Bogenform zu erhalten. Die vorstehenden Untersuchungen lassen erkennen, daß hierbei eine gewisse Vorsicht geboten ist und daß für eine ausreichende Querbewehrung gesorgt werden muß, da sonst leicht Risse zwischen den Rippen und den Platten entstehen können.

Die Zusatzspannungen, die bei einer gewölbten Brücke durch Winddruck hervorgerufen werden, brauchen nur bei schmalen Brücken verfolgt zu werden. Von ihrer Berechnung kann im allgemeinen abgesehen werden, sobald die Gewölbebreite mehr als etwa $\frac{1}{8}$ der Spannweite beträgt. Die größte Beanspruchung tritt in den Kämpfern infolge des Biegungsmomentes M_v auf; die Schubspannungen infolge der Drehmomente M_d spielen keine Rolle. Bei flacheren Brücken kann man das in den Kämpfern auftretende Biegungsmoment M_v annähernd nach der Formel $\frac{\Sigma W \cdot l}{8}$ überschlagen, wo ΣW den ganzen auf die Brückenstirn entfallenden Winddruck und l die Spannweite bedeutet.

Dr.-Ing. Walter Nakonz.

Buchdruckerei des Waisenhauses in Halle a. d. S.

Statistische Nachweisungen,

betreffend

die in den Jahren 1917 und 1918 unter Mitwirkung der Staatsbaubeamten vollendeten Hochbauten.

(Bearbeitet im Auftrage des Herrn Finanzministers.)

Inhaltsverzeichnis.

Bemerkung: Um die reinen Baukosten zu erhalten, sind in der Spalte 10 der nachfolgenden Angaben die Kostenbeträge für die sächlichen Bauleitungskosten nicht einbegriffen, aber in Spalte 12 bzw. 13 nachrichtlich angegeben. In den Gesamtkosten der Bauanlage in Spalte 9 sind die sächlichen Bauleitungskosten mit enthalten.

1	2	3	4		5	6	7	8	9		10				11	12	13	14
Nr.	Bestimmung und Ort des Baues	Regierungsbezirk	Zeit der Ausführung		Grundriß des Erdgeschosses und Beischrift	Bebaute Grundfläche im Erdgeschoß	Gesamtrauminhalt des Gebäudes	Anzahl und Bezeichnung der Nutzeinheiten	Gesamtkosten der Bauanlage nach		Kosten des Hauptgebäudes (ausschließlich der in Spalte 11, 12 und 13 aufgeführten Kosten) nach der Ausführung				Kosten der			Bemerkungen (Die hier angegebenen Kosten sind mit Ausnahme der persönlichen Bauleitungskosten in Spalte 9 u. 10 enthalten.)
			von	bis					dem Anschlage	der Ausführung	im ganzen	für 1 qm	für 1 cbm	für 1 Nutzeinheit	inneren Einrichtung	Nebenanlagen	sächlichen Bauleitung	
						qm	cbm		ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	
					I. Kirchen.													
					a) Kirchen mit Turmaufbauten. (Fehlen.)													
					b) Kirchen mit Turm.													
					1. Mit Holzdecken.													
1	**Krummenfließ,** Evangelische Kirche	Marienwerder	13	16	1 = Sakristei, 2 = Vorhalle.	171	1430	189	**30 000**	**34 865**	23 957 380 (*tiefere Gründung*)	140,1	16,8	126,8	6980 *davon* *Gestühl . . . 1400* *Kanzel . . . 530* *Glocken . . . 1550* *Orgel . . . . 3050* *Taufstein . . 140* *Altarerneuerung 310*	810	2738	Ziegelrohbau. Sockel Feldsteine. Ziegeldoppeldach.
2	**Lichtfelde,** desgl.	desgl.	14	16	1 = Windfänge, 2 = Eingänge, 3 = Pfarrgestühl, 4 = Konfirmanden- und Sitzungszimmer, 5 = Kleiderablage, 6 = Geräte.	493 (*davon 52 unterkellert*)	4129	526	**79 100**	**85 962**	67 373 350 (*tiefere Gründung*)	136,7	16,3	128,1	15 701 *davon* *Orgel . . . 7422* *Gestühl . . . 4329* *Kanzelaltar . 3550* *Tauftisch . . 400*	255	2283	Putzbau. Sockel Feldsteine. Vorhalle und Nordgiebel geputztes Holzfachwerk. Ziegeldoppeldach. Turmdach verzinktes Eisenblech. Luftheizung 4595 ℳ.
3	**Schwornigatz,** Katholische Kirche	desgl.	12	16	1 = Sakristei, 2 = Eingänge.	539	5825	810 (*davon 498 Stehplätze*)	**106000**	**88 717**	64 035 1 340 (*tiefere Gründung*)	118,8	11,0	79,1	18 326	228	4788	Putzbau. Sockel Feldsteine. Ziegeldoppeldach. Turmdach Kupfer. Persönliche Bauleitung 3666 ℳ.
					II. Pfarrhäuser.													
1	**Hildesheim,** Nebengebäude beim bischöflichen Hause	Hildesheim	15	17	1 = Zimmer, 2 = Haushälterin, 3 = Mädchen. a = Durchgang, b = Zimmer. Im K.: Vorräte, Waschküche, Bad. „ I.: Zimmer, Bücherei, Geräte, Bad, Abort, Waschraum, Hauslaube.	204 (*davon 167 unterkellert*)	1894	—	**31 000**	**33 035**	31 984	156,8	16,9	—	—	1051	—	Putzbau. Sockel Bruchsteine. Ziegelpfannendach.
					III. Volksschulen.													
					a) Mit 1 Schulzimmer. (Fehlen.)													
					b) Mit 2 Schulzimmern.													
1	**Hagen,** Schulgehöft	Stettin	16	18	1 = Schulzimmer, 2 = Schülerflur, 3 = Lehrerwohnung.	265 (*davon 68 unterkellert*)	1612	140	**33 700**	**45 850**	35 550	134,2	22,1	253,9	7200	3100	—	Putzbau. Sockel Ziegelrohbau. Ziegelkronendach.
					c) Mit 3 Schulzimmern.													
2	**Czichen,** desgl.	Marienwerder		14	wie vor.	316 (*davon 141 unterkellert*)	2768	240	**50 000**	**49 680**	38 024	120,3	13,7	158,4	5862	3629	2165	Putzbau. Sockel Feldsteine mit Ziegeleinfassungen. Ziegelkronendach.

IV. Erziehungsanstalten.

(Fehlen.)

V. Höhere Schulen.

a) Zusammenhängende Bauanlagen.

Nr. (1)	Bestimmung und Ort des Baues (2)	Regierungsbezirk (3)	Zeit der Ausführung von (4)	Zeit der Ausführung bis (4)	Grundriß des Erdgeschosses und Beischrift (5)	Bebaute Grundfläche im Erdgeschoß qm (6)	Gesamtrauminhalt des Gebäudes cbm (7)	Anzahl und Bezeichnung der Nutzeinheiten (8)	Gesamtkosten der Bauanlage nach dem Anschlage ℳ (9)	Gesamtkosten der Bauanlage nach der Ausführung ℳ (9)	Kosten des Hauptgebäudes (einschl. der in Spalte 11, ausschl. der in Spalte 12 aufgeführten Kostenbeträge) bzw. der Nebengebäude und der Nebenanlagen nach der Ausführung im ganzen ℳ (10)	für 1 qm ℳ (10)	für 1 cbm ℳ (10)	für 1 Nutzeinheit ℳ (10)	Kosten der Heizungsanlage im ganzen ℳ (11)	Kosten der Heizungsanlage für 100 cbm ℳ (11)	Kosten der sächlichen Bauleitung ℳ (12)	Bemerkungen (Die hier angegebenen Kosten sind mit Ausnahme der persönlichen Bauleitungskosten in Spalte 9 u. 10 enthalten.) (13)
1	**Coesfeld i. W.**, Gymnasium	Münster	14	17		948 (*davon 923 unterkellert*)	14681	480	**267500**	**280386**	228039 1819 (*künstl. Gründung*) 29750 (*innere Einrichtung*) 4308 (*Nebenanlagen*)	240,0	15,5	475,0	16196 (*Niederdruckdampfheizung*)	174,1	16470	Ziegelrohbau mit Tuffsteinarchitektur. Sockel Tuffstein. Falzziegeldach. Dachreiterabdeckung in Zink.

1 = Schuldienerwohn., 4 = Kartenzimmer, 7 = Direktor,
2 = Klassen, 5 = Bücherei, 8 = Vorzimmer,
3 = Schüleraborte, 6 = Schuldiener, 9 = Sitzungszimmer.
Im K.: Waschküche, Vorräte, Heizraum, Fahrräder, Akten und Vordrucke.
„ I.: 6 Klassen, Physikklasse, Sammlungen, Lehrmittel, im Wohnflügel Kammern.
„ II.: 3 Klassen, Zeichensaal, Gesangsklasse, Aula.

b) Einzelne Gebäude.

(Fehlen.)

VI. Seminare.

a) Zusammenhängende Bauanlagen.

Nr. (1)	Bestimmung und Ort des Baues (2)	Regierungsbezirk (3)	Zeit der Ausführung von (4)	Zeit der Ausführung bis (4)	Grundriß des Erdgeschosses und Beischrift (5)	Bebaute Grundfläche im Erdgeschoß qm (6)	Gesamtrauminhalt des Gebäudes cbm (7)	Anzahl und Bezeichnung der Nutzeinheiten (8)	Gesamtkosten nach dem Anschlage ℳ (9)	Gesamtkosten nach der Ausführung ℳ (9)	Kosten nach der Ausführung im ganzen ℳ (10)	für 1 qm ℳ (10)	für 1 cbm ℳ (10)	für 1 Nutzeinheit ℳ (10)	Heizungsanlage im ganzen ℳ (11)	Heizungsanlage für 100 cbm ℳ (11)	sächliche Bauleitung ℳ (12)	Bemerkungen (13)
1	**Osnabrück**, Lehrerseminar	Osnabrück	13	18		1415 (*davon 1036 unterkellert*)	18898	90 Seminaristen 170 Übungsschüler	**332100**	**373022**	293185 27832 (*Nebenanlagen*) 28126 (*innere Einrichtung*)	207,2	15,5	3257,6	21617 (*Warmwasserheizung*) 1531 (*Ofenheizung*)	202,5 96,7	23879	Putzbau mit teilweiser Sandsteinarchitektur. Sockel bearbeitete Bruchsteine. Ziegelpfannendach. Persönliche Bauleitung 18690 ℳ.

1 = Abortgebäude, 5 = Turnhalle, 9 = Reserveklasse,
2 = Orgelzelle, 6 = Musikinstrumente, 10 = Bücherei,
3 = Orgelzimmer, 7 = Ordinarius, 11 = Direktorwohnung,
4 = Klavierzimmer, 8 = Übungsklassen, 12 = Lehrerwohnung.
Im K.: unter 1 = Aborte für Knaben und Seminaristen,
„ 2 = Gartengeräte,
„ 3. 4 = Turnlehrer, Geräte, Vorraum,
„ 6—10 = Mädchenaborte, Ankleideraum, Brausebad, Heizraum, Kohlen,
„ 11 = Schuldienerwohnung und Keller,
„ 12 = Waschküche, Keller.
„ I.: Aula, Musiksaal, Kleiderablage, 3 Seminarklassen, Direktor, Lehrmittel, Sitzungszimmer, Dienstwohnung und Kammern.
„ II.: Zeichensaal, Modellraum, Lehrmittel, Physik- u. Chemieklasse, Vorbereitungsräume, 2 Klassen u. 1 Arbeitssaal.

1	2	3	4		5	6	7	8	9		10				11		12	13
Nr.	Bestimmung und Ort des Baues	Regierungsbezirk	Zeit der Ausführung		Grundriß des Erdgeschosses und Beischrift	Bebaute Grundfläche im Erdgeschoß	Gesamtrauminhalt des Gebäudes	Anzahl und Bezeichnung der Nutzeinheiten	Gesamtkosten der Bauanlage nach		Kosten des Hauptgebäudes (einschl. der in Spalte 11, ausschl. der in Spalte 12 aufgeführten Kostenbeträge) bzw. der Nebengebäude und der Nebenanlagen nach der Ausführung				Kosten der Heizungsanlage		Kosten der sächlichen Bauleitung	Bemerkungen (Die hier angegebenen Kosten sind mit Ausnahme der persönlichen Bauleitungskosten in Spalte 9 u. 10 enthalten.)
			von	bis					dem Anschlage	der Ausführung	im ganzen	für 1 qm	für 1 cbm	für 1 Nutzeinheit	im ganzen	für 100 cbm		
						qm	cbm		ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	
2	**Fürstenwalde, Spree,** Lehrerseminar	Frankfurt (Oder)	14	18	1 = darunter Aborte, Vorraum, 2 = „ Geräte, 3 = Turnhallenluftraum, 4 = Sammlungsraum, 5 = Sitzungszimmer, 6 = Übungsklassen, 7 = Bücherei, 8 = Lehrerabort, 9 = Leiter der Präparandie, 10 = Schuldienerwohnung, 11 = Lehrerwohnung. Im K.: Unter 1—4 = Vorraum, Turnhalle, Geräte, Aborte, Umkleideraum, Turnlehrer, unter 5—9 = Geräte, Heizraum, Kohlen, Baderaum, Auskleideraum und Geräte, unter 10 u. 11 = Fahrradraum, Keller und Waschküche. „ I.: Musiksaal, Musikzellen, 5 Klassen, Physikklasse, Vorbereitungsräume, Direktorzimmer, Direktorwohnung. „ II.: Aula, Zeichensaal, Modelle, 2 Klassen, Kleiderablage, Oberlehrerwohnung.	1435 (*davon 1020 unterkellert*)	18826	—	**339600**	**381650**	289800 38850 (*Nebenanlagen*) 36300 (*innere Einrichtung*)	202,0	15,4	—	17086	165,2 (*Niederdruckdampfheizung*)	16700	Putzbau mit einzelnen Architekturstücken in Kunststein. Ziegelkronendach. Zwischenbauten Holzzementdächer. Dachreiter mit Zinkblechdach.

b) Einzelne Gebäude.

(Fehlen.)

VII. Turnhallen.

(Fehlen.)

VIII. Taubstummenanstalten.

(Fehlen.)

IX. Gebäude für akademischen und Fachunterricht.

A. Hörsaal- und Institutsgebäude.

1	2	3	4		5	6	7	8	9		10				11		12	13
1	**Göttingen,** Erweiterungsbau des Großen Hör- und Operationssaales der Chirurgischen Klinik	Hildesheim	14	16	1 = Operationssaal, 2 = Sterilisierraum, 3 = Gipsraum, 4 = Vorbereitungsräume, 5 = Warteraum. — Im I.: Hörsaal.	101 (*ganz unterkellert*)	1063	—	**26 050**	**28 050**	22 794 4 129 (*innere Einrichtung*) 497 (*Nebenanlagen*) 315 (*Abbruch*)	225,7	21,4	—	—	—	315	Ziegelrohbau. Sockel bearbeiteter Bruchstein. Schieferdach.
2	**Göttingen,** Erweiterungsbau des Naturhistorischen Museums	desgl.	14	16	1 = Hörsaal, 2 = Kleiderablage, 3 = Vorbereitung. — Im K.: Keller. 1 = Sammlung. Im K.: Dienstwohnung und verfügbarer Raum.	434 (*ganz unterkellert*)	3812	—	**78 100**	**84 300**	54 569 14 153 (*innere Einrichtung*) 4 167 (*Änderungen im Altbau*) 1 431 (*Nebenanlagen*) 1 366 (*Abbruch*) 5 116 (*tiefere Gründung*)	125,7	14,3	—	5723	187,0 (*Niederdruckdampfheizung*)	3498	Putzbau. Sockel in Kalkstein. Holzzementdach auf Beton.

1	2	3	4		5	6	7	8	9		10				11		12	13
Nr.	Bestimmung und Ort des Baues	Regierungsbezirk	Zeit der Ausführung		Grundriß des Erdgeschosses und Beischrift	Bebaute Grundfläche im Erdgeschoß	Gesamtrauminhalt des Gebäudes	Anzahl und Bezeichnung der Nutzeinheiten	Gesamtkosten der Bauanlage nach		Kosten des Hauptgebäudes (einschl. der in Spalte 11, ausschl. der in Spalte 12 aufgeführten Kostenbeträge) bzw. der Nebengebäude und der Nebenanlagen nach der Ausführung				Kosten der Heizungsanlage		Kosten der sächlichen Bauleitung	Bemerkungen (Die hier angegebenen Kosten sind mit Ausnahme der persönlichen Bauleitungskosten in Spalte 9 u. 10 enthalten.)
			von	bis					dem Anschlage	der Ausführung	im ganzen	für 1 qm	für 1 cbm	für 1 Nutzeinheit	im ganzen	für 100 cbm		
						qm	cbm		ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	
					B. Klinische Universitätsbauten.													
3	**Göttingen,** Erweiterung der Chirurgischen Klinik	Hildesheim	15	18	1 = Arzt, 2 = Operationssaal, 3 = Untersuchung, 4 = Instrumente, 5 = Wasserbetten, 6 = Schwestern, 7 = Warteraum, 8 = Vorbau. Im K.: Turnsaal, Kleiderablage, Aborte, Elektrisierraum, Dienerwohnung. „ O.: Aufenthaltsraum, 6 Arzträume, Bücherei, Bad.	321 (*alles unterkellert*)	4091	—	**137 200**	**161 050**	102 980 520 (*tiefere Gründung*) 42 040 (*innere Einrichtung*) 2 600 (*Nebenanlagen*) 7 750 (*Umbauten*)	320,8	25,2	—	9508 (*Pumpenwarmwasserheizung System Kaeferle*)	318,6	5160	Ziegelrohbau. Sockel Bruchsteine. Schieferdach.
					X. Gebäude für Kunst und Wissenschaft.													
1	**Osnabrück,** Staatsarchiv	Osnabrück	14	18	1 = Magazin, 2 = Aufzug, 3 = Packraum, 4 = Aborte, 5 = Ordnungsraum, 6 = Archivar, 7 = Dienstwohnung. Im K.: Waschküche, Heizraum, Kohlen, Vorräte, Packmaterial. „ I.: Handbücherei, Benutzersaal, Direktor, Kanzlei, Warteraum, Diener. „ II.—VI.: Magazine. „ D.: Photographische Aufnahme- und Arbeitsräume.	640 (*alles unterkellert*)	9351	32 234 (*Aktenfächer*)	**292 000**	**295 554**	171 372 17 963 (*Nebenanlagen*) 65 608 (*innere Einrichtung*) 22 713 (*künstliche Gründung*)	267,8	18,3	5,3	6614 (*Warmwasserheizung im Verwaltungsgebäude*) 3597 (*Niederdruckdampfheizung im Magazin*)	385,7 93,3	17 898	Putzbau mit Sandsteinarchitektur. Sockel Bruchsteine. Ziegelpfannendach. Zwischenbau Holzzement. Persönliche Bauleitung 20115 ℳ.
					XI. Gebäude für technische und gewerbliche Zwecke. (Fehlen.)													
					XII. Gebäude für gesundheitliche Zwecke. (Fehlen.)													
					XIII. Ministerial- und Verwaltungsgebäude.													
					A. Dienstgebäude. (Fehlen.)													
					B. Dienstwohngebäude.													
1	**Beelitzhof,** Gendarmeriedienstgehöft	Potsdam	15	17	1 und 2 je eine Dienstwohnung. Im K.: Vorräte. Im I. = 2 Dienstwohnungen.	247 (*davon 130 unterkellert*)	2200	4 (*Wohnungen*)	**48 000**	**64 857**	41 191 10 064 (*Stallgebäude*) 13 602 (*Nebenanlagen*)	166,8	18,7	10298	2683 (*Ofenheizung*)	273,0	—	Putzbau. Ziegelkronendach.

1	2	3	4		5	6	7	8	9		10				11		12	13
Nr.	Bestimmung und Ort des Baues	Regierungsbezirk	Zeit der Ausführung		Grundriß des Erdgeschosses und Beischrift	Bebaute Grundfläche im Erdgeschoß	Gesamtrauminhalt des Gebäudes	Anzahl und Bezeichnung der Nutzeinheiten	Gesamtkosten der Bauanlage nach		Kosten des Hauptgebäudes (einschl. der in Spalte 11, ausschl. der in Spalte 12 aufgeführten Kostenbeträge) bezw. der Nebengebäude und der Nebenanlagen nach der Ausführung				Kosten der Heizungsanlage		Kosten der sächlichen Bauleitung	Bemerkungen (Die hier angegebenen Kosten sind mit Ausnahme der persönlichen Bauleitungskosten in Spalte 9 u. 10 enthalten.)
			von	bis					dem Anschlage	der Ausführung	im ganzen	für 1 qm	für 1 cbm	für 1 Nutzeinheit	im ganzen	für 100 cbm		
						qm	cbm		ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	
	XIV. Geschäftsgebäude für Gerichte.																	
	A. Geschäftsgebäude für Amtsgerichte.																	
	a) Bauten ohne Gefängnis.																	
1	**Ratingen,** Amtsgericht	Düsseldorf	13	18	1 = Grundbuchraum, 2 = Gerichtsschreiberei, 3 = Registratur, 4 = Richter, 5 = Kasse, 6 = Gerichtsdiener, 7 = Warteraum, 8 = Dienerwohnung. Im K.: Beschlagnahmte Sachen, Doppel und Kirchenbücher, Akten, Heizraum, Waschküche, Vorräte, Kohlen. „ I.: Schöffensaal, Warteraum, Richter- und Beratungszimmer, Referendar, Amts- und Rechtsanwalt, 2 Gerichtsschreibereien. „ II.: 2 Gerichtsschreibereien, 2 Richter, Assessoren, Bote, Schreibstube, Warteraum.	588 (*ganz unterkellert*)	8123	4 Richter	**176900**	**182100**	137954 4000 (*künstliche Gründung*) 22728 (*innere Einrichtung*) 10182 (*Nebenanlagen*)	234,6	17,0	34488,5	10217 (*Niederdruckwarmwasserheizung*)	231,0	7236	Putzbau, Straßenansicht in Terranovaputz. Architektur teils Kunststein, teils Tuff und Trachyt. Sockel Basaltlava. Ziegelpfannendach. Persönliche Bauleitung 13136 ℳ.
	b) Bauten mit Gefängnis.																	
2	**Gronau,** Amtsgericht mit Gefängnis	Münster	15	17	1 = Bad, 2 = Zellen, 3 = Aufnahmezelle, 4 = Geschäftszimmer, 5 = Kochküche, 6 = Speisekammer, 7 = Dienerwohnung, 8 = Bote, 9 = Richter, 10 = Registratur, 11 = Archiv, 12 = Gerichtsschreiberei mit Kasse, 13 = Warteraum, 14 = Hof, 15 = Abort, 16 = Geräte, 17 = Schuppen. Im K.: Reinigungsapparat, Waschküche, Rollkammer, Vorräte, Heizraum, beschlagnahmte Sachen. „ I.: Schöffensaal, Richter- und Beratungszimmer, 2 Gerichtsschreibereien, Bote, Wartehalle, Assessoren, Rechtsanwalt, Aborte, Spülzelle, 3 Zellen, Gemeinschaftszelle. „ II.: 3 Zellen, Spülzelle, Gemeinschaftszelle.	555	6663	1 Richter 14 Gefangene	**149100**	**168590**	134276 13629 (*Nebenanlagen*) 11630 (*innere Einrichtung*)	241,9	20,2	—	7910 (*Niederdruckwarmwasserheizung*)	295,0	9055	Ziegelrohbau, Architektur in Tuffstein. Mittelbau Tuffsteinverblendung. Falzziegeldach.

1	2	3	4		5	6	7	8	9		10				11		12	13
Nr.	Bestimmung und Ort des Baues	Regierungsbezirk	Zeit der Ausführung		Grundriß des Erdgeschosses und Beischrift	Bebaute Grundfläche im Erdgeschoß	Gesamtrauminhalt des Gebäudes	Anzahl und Bezeichnung der Nutzeinheiten	Gesamtkosten der Bauanlage nach		Kosten des Hauptgebäudes (einschl. der in Spalte 11, ausschl. der in Spalte 12 aufgeführten Kostenbeträge) bzw. der Nebengebäude und der Nebenanlagen nach der Ausführung				Kosten der Heizungsanlage		Kosten der sächlichen Bauleitung	Bemerkungen (Die hier angegebenen Kosten sind mit Ausnahme der persönlichen Bauleitungskosten in Spalte 9 u. 10 enthalten.)
			von	bis					dem Anschlage	der Ausführung	im ganzen	für 1 qm	für 1 cbm	für 1 Nutzeinheit	im ganzen	für 100 cbm		
						qm	cbm		ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	
3	**Gladbeck i. W.,** Amtsgericht mit Gefängnis und Aufseherhaus	Münster	14	17	1 = Badezelle, 2 = Kochküche, 3 = Speisekammer, 4 = Lebensmittel, 5 = Aufnahme, 6 = Expedition, 7 = Wohnung des Aufsehers, 8 = Grundbuch, 9 = Gerichtsschreiberei, 10 = Registratur, 11 = Richter, 12 = Warteraum, 13 = Bote, 14 = Kasse, 15 = Gerichtsdienerwohnung, 16 = Vorhof, 17 = Gefängnishof. Im K.: unter 1—7 = Heizung, Waschküchen, Dampfreiniger, Strafzelle, Vorräte; unter 8—14 = Pfänder, Kirchenbücher, beschlagnahmte Sachen, Waschküche, Detentionszellen, Vorräte, Heizraum, Kohlen. „ I.: über 1—6 = 6 Zellen, Krankenzelle, Spülzelle; über 8—14 = Schreibstube, 2 Gerichtsschreibereien, 2 Richter, Gerichtsdiener, Schöffensaal, Warteraum, Beratungszimmer, Rechtsanwälte, Amtsanwalt, Maschinenschreiber. „ II.: über 1—6 = 6 Zellen, Gemeinschaftszelle, Spülzellen. über 7—14 = 4 Gerichtsschreibereien, 3 Richter, Sachverständige, Bücherei, Zivilprozeßsaal, Warteraum, Assessoren und Referendar, Verteilungsstelle. „ III.: über 1—6 = 5 Zellen, Spülzelle, Bet- u. Arbeitssaal. „ D.: über 1—6 = Rollkammer, abgenommene Sachen, Lagerungs- und Bekleidungsgegenstände.	664	10286	6 (Richter)	**290830**	**311142**	183764 (*Geschäftsgebäude*) 64238 (*Gefängnis mit Aufseherhaus*) 21370 (*Nebenanlagen*) 21563 (*innere Einrichtung*)	276,8 242,4	17,9 20,3	30627,3 3212	12198 (*Niederdruckwarmwasserheizung*)	200,0	20207	Putzbau, Architektur teils in Tuffstein, Mittelbau in Tuffsteinverblendung. Falzziegeldach.
4	**Russ,** Amtsgericht, Gefängnis und Aufseherhaus	Gumbinnen	13	17		—	—	—	**183300**	**183230**	—	—	—	—	—	—	—	—
	a) Amtsgericht	—			1 = Gerichtsschreiber, 2 = Standesamtsnebenregister, 3 = Grundbuch, 4 = Registratur, 5 = Richter, 6 = Kasse, 7 = Warteraum, 8 = Gerichtsdiener. Im I.: 2 Gerichtsschreibereien, Schöffensaal, Richter- und Beratungszimmer, 2 Amts- und Rechtsanwalt, Assessor und Referendar, Warteraum, Detentionszelle. „ D.: Aktenkammer, Pfandkammer.	436 (*ohne Keller*)	4934	2 (Richter)	80 000	71 112	71 112	163,2	14,4	35556	2467 (*Kachelöfen*)	120,8	—	Putzbau. Ziegelkronendach.
	b) Aufseherwohnhaus	—			9 = Wohnung des Aufsehers, auch im I.	49 (*davon 7,9 unterkellert*)	414	—	9 300	8 293	8 293	169,2	20,0	—	372 (*Kachelöfen*)	—	—	Wie vor.

Nr.	Bestimmung und Ort des Baues	Regierungsbezirk	Zeit der Ausführung von	bis	Grundriß des Erdgeschosses und Beischrift	Bebaute Grundfläche im Erdgeschoß qm	Gesamtrauminhalt des Gebäudes cbm	Anzahl und Bezeichnung der Nutzeinheiten	Gesamtkosten der Bauanlage nach dem Anschlage ℳ	der Ausführung ℳ	Kosten des Hauptgebäudes (einschl. der in Spalte 11, ausschl. der in Spalte 12 aufgeführten Kostenbeträge) bzw. der Nebengebäude und der Nebenanlagen nach der Ausführung im ganzen ℳ	für 1 qm ℳ	für 1 cbm ℳ	für 1 Nutzeinheit ℳ	Kosten der Heizungsanlage im ganzen ℳ	für 100 cbm ℳ	Kosten der sächlichen Bauleitung ℳ	Bemerkungen (Die hier angegebenen Kosten sind mit Ausnahme der persönlichen Bauleitungskosten in Spalte 9 u. 10 enthalten.)
1	2	3	4		5	6	7	8	9		10				11		12	13
	c) Gefängnisgebäude	—			10 = Kochküche, 11 = Vorräte, 12 = Zelle, 13 = Bad, 14 = Reinigung, 15 = Strafzelle, 16 = Expedition. Im K.: Vorräte. „ I.: Waschküche, 5 Zellen, Spülzelle, Krankenzelle. „ II.: Bet- und Arbeitsraum, 3 Zellen, Spülzelle, Gemeinschaftszelle, Desinfektion.	166 (davon 36,0 unterkellert)	1923	12 Gefangene	42 617	39 398	39 398	237,4	20,5	3283,2	1215	—	—	Putzbau. Ziegelkronendach.
	d) Hofgebäude	—			17 = Arbeitsschuppen. 18 = Geräte, 19 = Brennmaterial, 20 = Enteisenung, 21 = Aborte.	122	751	—	12 130	11 821	11 821	96,9	15,7	—	—	—	—	Putzbau. Doppelpappdach.
	e) Nebenanlagen	—			22 = Gefängnishof, 23 = Wirtschaftshof, 24 = Hof.	—	—	—	15 853	18 864	—	—	—	—	—	—	—	—
	f) Innere Einrichtung				—	—	—	—	12 600	12 784	—	—	—	—	—	—	—	—
	g) Enteisenungsanlage				—	—	—	—	800	2 725	—	—	—	—	—	—	—	—
	h) Sächliche Bauleitung				—	—	—	—	10 000	9 952	—	—	—	—	—	—	—	—
	i) Tiefere Gründung				—	—	—	—	—	8 281	—	—	—	—	—	—	—	—

B. Geschäftsgebäude für Landgerichte.

(Fehlen.)

C. Dienstwohngebäude.

(Fehlen.)

XV. Gefängnisse und Strafanstalten.

Nr.	Bestimmung und Ort des Baues	Regierungsbezirk	von	bis	Grundriß des Erdgeschosses und Beischrift	qm	cbm	Nutzeinheiten	dem Anschlage ℳ	der Ausführung ℳ	im ganzen ℳ	qm ℳ	cbm ℳ	Nutzeinheit ℳ	im ganzen ℳ	für 100 cbm ℳ	sächliche Bauleitung ℳ	Bemerkungen
1	**Kiel,** Gerichtsgefängnis	Schleswig	14	18	—	—	—	—	1109700	1196202	—	—	—	—	—	—	—	—
	a) Beamtenhaus, östlich	—			1 und 2 = je eine Dienstwohnung, 3 = Hof. Im K.: Waschküchen und Kellerräume, „ I.: Inspektorwohnung. „ D.: Oberaufseherwohnung, Trockenboden.	233 (ganz unterkellert)	2535	—	54 000	46 666	46 666	200,3	18,4	—	1633 (Ofenheizung)	167,9	—	Ziegelrohbau, gefugt. Holländisches Pfannendach.
	b) Beamtenhaus, westlich	—			Wie vor. Im I. 2 Wohnungen. Im D. 2 Aufseherinnenwohnungen.	233 (ganz unterkellert)	2535	—	54 000	46 666	46 666	200,3	18,4	—	1368 (Ofenheizung)	157,2	—	Wie vor.

1	2	3	4		5	6	7	8	9		10				11		12	13
Nr.	Bestimmung und Ort des Baues	Regierungsbezirk	Zeit der Ausführung		Grundriß des Erdgeschosses und Beischrift	Bebaute Grundfläche im Erdgeschoß	Gesamtrauminhalt des Gebäudes	Anzahl und Bezeichnung der Nutzeinheiten	Gesamtkosten der Bauanlage nach		Kosten des Hauptgebäudes (einschl. der in Spalte 11, ausschl. der in Spalte 12 aufgeführten Kostenbeträge) bzw. der Nebengebäude und der Nebenanlagen nach der Ausführung				Kosten der Heizungsanlage		Kosten der sächlichen Bauleitung	Bemerkungen (Die hier angegebenen Kosten sind mit Ausnahme der persönlichen Bauleitungskosten in Spalte 9 u. 10 enthalten.)
			von	bis					dem Anschlage	der Ausführung	im ganzen	für 1 qm	für 1 cbm	für 1 Nutzeinheit	im ganzen	für 100 cbm		
						qm	cbm		M	M	M	M	M	M	M	M	M	
	c) Gefängnis	—			1 = Zelle, 2 = Spülzelle, 3 = Aufseher, 4 = abgenommene Sachen, 5 = Hausvater,	1963 (davon 1922 unterkellert)	37407	365 Gefangene	790000	804116	804116	409,6	21,5	2203	62 450 (Niederdruckwarmwasserheizung)	243,0	—	Straßenansicht gefugter Ziegelrohbau. Höfe bis I. Stock wie vor, darüber Putzflächen. An der Straße über dem Mittelflügel und über den Haupttreppenhäusern holländisches Pfannendach, sonst Holzzementdächer.

6 = Lagerungs- und Bekleidungsgegenstände, 7 = Expedition, 8 = Sprechzimmer, 9 = Bücherei, 10 = Vernehmung, 11 = Wartezimmer, 12 = Aufenthalt für Aufseher, 13 = Bad, 14 = Werkmeister, 15 = Gemeinschaftszelle, 16 = Luftraum der Kochküche, 17 = Luftraum der Waschküche, 18 = Trockenraum, 19 = Arrestzelle, 20 = Beruhigungszelle, 21 = Schlafzelle, 22 = Arbeitsraum, 23—26 = Höfe, 27 = Weiberhof.

Im K.: Aufnahmezellen, Sektion, schmutzige Wäsche, Ankleideräume, Bäder, Vorräte, Tischlerei, Schlosserei, Heizung, Kohlenräume, Brausebad für Männer, Kochküche, Speisekammer, Brotschneideraum, Desinfektion, Rollkammer, Waschküche, Trockenraum.

„ I.: 52 Zellen, 2 Aufseher, 3 Spülzellen, Gemeinschaftszelle, Maschinenmeister, Konferenzzimmer, Direktor, Vorzimmer, Verwaltungsinspektor, Geistlicher, Arbeitsinspektor, Rendant, 13 Schlafzellen, Arbeitsraum, 2 Krankenzellen, Bad, Auskleideraum, Aufnahme und Reinigung, Arrestzelle, abgenommene Sachen.

„ II.: 63 Zellen, 2 Aufseher, 4 Spülzellen, Oberaufseher, Beamtenbad, Gemeinschaftszelle, Krankensaal, 2 Krankenzellen, Wärter, Krankenbad, Arzt und Apotheke, 2 Sakristeien, Aufseherin, 16 Schlafzellen.

„ III.: 64 Zellen, 4 Spülzellen, 2 Aufseher, Gemeinschaftszelle, Betsaal, Aufseherin, 16 Schlafzellen.

„ IV.: 70 Zellen, 2 Aufseher, 4 Spülzellen, 3 Gemeinschaftszellen.

1	2	3	4 von	4 bis	5	6	7	8	9 Anschlag	9 Ausführung	10 im ganzen	10 qm	10 cbm	10 Nutzeinheit	11 im ganzen	11 für 100 cbm	12	13
	d) Nebenanlagen	—			—	—	—	—	45000	103558	—	—	—	—	—	—	—	—
	e) Innere Einrichtung	—			—	—	—	—	122700	145000	—	—	—	—	—	—	—	—
	f) Tiefere Gründung	—			—	—	—	—	—	9402	—	—	—	—	—	—	—	—
	g) Sächliche Bauleitung	—			—	—	—	—	44000	40794	—	—	—	—	—	—	—	—

XVI. Gebäude der Steuerverwaltung.

(Fehlen.)

XVII. Eichungsämter.

(Fehlen.)

XVIII. Forstbauten.

A. Oberförstereien.

1	2	3	4 von	4 bis	5	6	7	8	9 Anschlag	9 Ausführung	Kosten des Hauptgebäudes (ausschließlich der in Spalte 11, 12 und 13 aufgeführten Kosten) im ganzen	qm	cbm	Nutzeinheit	Kosten der Nebengebäude	Kosten der Nebenanlagen	Kosten der sächl. Bauleitung	13
1	**Schoenthal,** Oberförstergehöft	Marienwerder	14	16	1 = Speisekammer, 2 = Küche, 3 = Zimmer, 4 = Eßzimmer, 5 = Veranda.	247 (davon 232 unterkellert)	2200	—	**59 100**	**69 092**	—	—	—	—	—	—	—	—
									38 270 (Wohngebäude)	40 338	40 338	163,3	18,3	—	16586	9668	2500	Putzbau. Ziegelkronendach.
									9 250 (Stallgebäude)	9 143	—	—	—	—	—	—	—	Wie vor.
									4 300 (Scheune)	5 084	—	—	—	—	—	—	—	Putzbau. Doppelpappdach.
									1 120 (Wagenremise)	1 141	—	—	—	—	—	—	—	Wie vor.
									— (Ackerwagenschuppen)	1 218	—	—	—	—	—	—	—	Wie vor.
									3 660 (Nebenanlagen)	9 668								
									2 500 (sächl. Bauleitung)	2 500								

Im K.: Waschküche, Vorräte,
„ I.: 5 Zimmer, Wirtschafterin, Mädchenzimmer, Bad, Balkon.
„ D.: Giebelstube, Räucherkammer.

B. Förstereien.

(Fehlen.)

1	2	3	4		5	6	7	8	9		10				11		12	13
Nr.	Bestimmung und Ort des Baues	Regierungsbezirk	Zeit der Ausführung		Grundriß des Erdgeschosses und Beischrift	Bebaute Grundfläche im Erdgeschoß	Gesamtraumінhalt des Gebäudes	Anzahl und Bezeichnung der Nutzeinheiten	Gesamtkosten der Bauanlage nach		Kosten des Hauptgebäudes nach der Ausführung				Kosten		Wert der Fuhren in Spalte 9—11 enthalten	Bemerkungen (Die hier angegebenen Kosten sind mit Ausnahme der persönlichen Bauleitungskosten in Spalte 9 u. 10 enthalten.)
			von	bis					dem Anschlage	der Ausführung	im ganzen	für 1 qm	für 1 cbm	für 1 Nutzeinheit	der Nebengebäude	der Nebenanlagen		
						qm	cbm		ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	
					XIX. Landwirtschaftliche Bauten.													
					A. Pächterwohnhäuser.													
1	**Jesberg,** Domäne, Pächterwohnhaus	Kassel	15	19	1 = Amtszimmer, 2 = Wohnzimmer, 3 = Hauslaube, 4 = Eßzimmer, 5 = Speisekammer, 6 = Küche, Im K.: Gesindestube, Waschküche, Rollkammer, Vorräte. „ I.: 5 Zimmer, Mädchenzimmer, 2 Kammern.	232 *(alles unterkellert)*	2113	—	**33 500**	**34 000**	28 114 2 244 *(sächliche Bauleitung)*	121,2	13,3	—	—	3623	—	Putzbau, Sockel Bruchsteine. Ziegeldoppeldach.
2	**Kienberg,** Domäne, Beamtenwohnhaus	Potsdam	16	17	1 u. 2 = je eine Wohnung. Im K. Vorräte. „ D. je eine Kammer und Räucherkammer.	164 *(alles unterkellert)*	1036	2 Wohnungen	**27 600**	**30 278**	25 576	156,0	24,7	12788	4702	—	1200	Putzbau, Sockel Ziegelrohbau. Ziegelkronendach.
					B. Wohnhäuser für Wanderarbeiter.													
3	**Halbersdorf,** Domäne. Zweifamilienhaus	Marienwerder	17	18	1 = Schweinestall, 2 = Ziegen und Hühner, 3 = Küche, 4 = Stube, 5 = Kammer. Im K. Vorräte. „ D. Räucherkammer, Boden.	174 *(davon 65 unterkellert)*	683	2	—	**21 960**	21 500	123,6	31,5	10750	—	460	1435	Putzbau, Sockel Ziegelrohbau. Ziegelkronendach.
4	**Peterhof,** Domäne, Dreifamilienhaus	Bromberg	17		1. 2. 3. je eine Wohnung. Im K. Vorräte. „ D.: je eine Räucherkammer, über 3 eine Giebelstube.	190 *(davon 90 unterkellert)*	926	3	**20 790**	**25 000**	25 000	131,5	27,0	8333	—	—	2000	Wie vor.
5	**Halbersdorf,** Domäne, Vierfamilienhaus	Marienwerder	17	18	1—4 je eine Wohnung. Im K. Vorräte. „ D.: Räucherkammern, Böden.	242 *(davon 91 unterkellert)*	1004	4 Wohnungen	—	**32 005**	31 280	129,3	31,2	7820	—	725	2095	Wie vor.

1	2	3	4		5	6	7	8	9		10				11		12	13
Nr.	Bestimmung und Ort des Baues	Regierungsbezirk	Zeit der Ausführung		Grundriß des Erdgeschosses und Beischrift	Bebaute Grundfläche im Erdgeschoß	Gesamtrauminhalt des Gebäudes	Anzahl und Bezeichnung der Nutzeinheiten	Gesamtkosten der Bauanlage nach		Kosten: des Hauptgebäudes nach der Ausführung				Kosten: der Nebengebäude	Kosten: der Nebenanlagen	Wert der Fuhren in Spalte 9—11 enthalten	Bemerkungen (Die hier angegebenen Kosten sind mit Ausnahme der persönlichen Bauleitungskosten in Spalte 9 u. 10 enthalten.)
			von	bis					dem Anschlage	der Ausführung	im ganzen	für 1 qm	für 1 cbm	für 1 Nutzeinheit				
						qm	cbm		ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	
					C. Rindviehställe.													
					1. Balkendecken.													
6	**Kienberg,** Domäne, Jungviehstall	Potsdam	15	17	1 = Stall, 2 = Gang, 3 = Futterkammer. Im K. Rübenkeller, „ D. Futterboden.	1290 (*davon 155 unterkellert*)	9339	300 Haupt Jungvieh	**69 000**	**69 804**	60 959 1 415 (*tiefere Gründung*)	47,3	6,5	203,2	—	7430	3000	Ziegelrohbau mit Putzfeldern im Obergeschoß. Schieferdach.
					2. Massivdecken. (Fehlen.)													
					D. Pferdeställe.													
7	**Grimnitz,** Domäne. Pferdestall	Potsdam	17	18	1 = Stellmacherei, 2 = Gastpferde, 3 = Krankenstall, 4 = Ackerpferde, 5 = Futterkammer, 6 = Knechtekammer, 7 = Kutsch- u. Reitpferde, 8 = Geschirrkammer, 9 = Wagenremise. Im K.: Vorräte für den Kutscher, „ I.: über 7 u. 8: Kutscherwohnung, „ D.: Futterboden, Kornboden	622	4432	28 Ackerpferde 6 Kutschpferde 4 Gastpferde	**35 100**	**42 657**	40 763	65,5	9,2	—	—	1894	1906	Ziegelrohbau mit Putzflächen. Pappdach.
					E. Ställe für Pferde und Rindvieh.													
8	**Weddingen,** Domäne. Rindvieh- und Pferdestall	Hildesheim	13	16	1 = Ochsen, 2 = Futterdiele, 3 = Kühe, 4 = Ackerpferde, 5 = Enten, 6 = Hühner, 7 = Badstall, 8 = Legestall, 9 = Vorräte, 10 = Box, 11 = Knechtekammern. Im D. Heuboden, Schüttboden.	1104	5382	144 davon: 24 Ochsen 82 Kühe 14 Jungvieh 24 Pferde	**75 900**	**70 084**	57 668 1 402 (*sächliche Bauleitung*)	52,2	10,7	400,5	—	11014	6371	Putzbau, Sockel Sandsteinverblendung. Hohlziegeldach.
					F. Schweineställe. (Fehlen.)													
					G. Schafställe. (Fehlen.)													
					H. Ställe für verschiedene Tiergattungen. (Fehlen.)													
					J. Scheunen. (Fehlen.)													
					K. Schuppen. (Fehlen.)													

1	2	3	4		5	6	7	8	9		10				11		12	13
Nr.	Bestimmung und Ort des Baues	Regierungsbezirk	Zeit der Ausführung		Grundriß des Erdgeschosses und Beischrift	Bebaute Grundfläche im Erdgeschoß	Gesamtrauminhalt des Gebäudes	Anzahl und Bezeichnung der Nutzeinheiten	Gesamtkosten der Bauanlage nach		Kosten						Wert der Fuhren in Spalte 9—11 enthalten	Bemerkungen (Die hier angegebenen Kosten sind mit Ausnahme der persönlichen Bauleitungskosten in Spalte 9 u. 10 enthalten.)
											des Hauptgebäudes nach der Ausführung				der Nebengebäude	der Nebenanlagen		
									dem Anschlage	der Ausführung	im ganzen	für 1						
			von	bis		qm	cbm		ℳ	ℳ	ℳ	qm ℳ	cbm ℳ	Nutzeinheit ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	
					XX. Gestütsbauten.													
					A. Wohnhäuser. (Fehlen.)													
					B. Stallgebäude. (Fehlen.)													
					C. Scheunen.													
1	**Altefeld** (Hauptgestüt), Feldscheune	Kassel	17	18	Länge . . . 48,20 m, Breite . . . 20,20 m.	974	5842	—	**32 000**	**31 853**	31 462	32,7	5,4	—	—	391	—	Verbrettertes Holzwerk. Pappdach.

1	2	3	4		5	6	7	8	9		10				11	12	13	14
Nr.	Bestimmung und Ort des Baues	Regierungsbezirk	Zeit der Ausführung		Grundriß des Erdgeschosses und Beischrift	Bebaute Grundfläche im Erdgeschoß	Gesamtrauminhalt des Gebäudes	Anzahl und Bezeichnung der Nutzeinheiten	Gesamtkosten der Bauanlage nach		Kosten des Hauptgebäudes (ausschließlich der in Spalte 11, 12 und 13 aufgeführten Kosten) nach der Ausführung				Kosten der			Bemerkungen (Die hier angegebenen Kosten sind mit Ausnahme der persönlichen Bauleitungskosten in Spalte 9 u. 10 enthalten.)
									dem Anschlage	der Ausführung	im ganzen	für 1			Nebengebäude	Nebenanlagen	sächlichen Bauleitung	
			von	bis		qm	cbm		ℳ	ℳ	ℳ	qm ℳ	cbm ℳ	Nutzeinheit ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	
					XXI. Hochbauten der Wasserbauverwaltung.													
					A. Dienstgebäude.													
1	**Fürstenberg a. O.,** Pumpwerksgebäude	Potsdam	15	17	1 = Raum des M. E. W., 2 = Hochspannungsraum, 3 = Transformatoren, 4 = Flur, 5 = Werkstatt, 6 = Maschinenraum.	354	2729	—	**114515**	**133565**	40 423 84 940 (*Einrichtung*) 120 (*tiefere Gründung*)	114,2	14,8	—	—	7217	865	Ziegelrohbau. Pappdach.
					B. Dienstwohngebäude. (Fehlen.)													
					C. Werkstattgebäude.													
2	**Einlage** (Schirrhof), Werkstättengebäude	Danzig	16	17	1 = Maschinenhallen, 2 = Durchfahrt, 3 = Zimmerei, 4 = Lagerraum, 5 = Schlosserei, 6 = Schmiede, 7 = Kohlenbunker.	856	3856	—	**40 000**	**45 135**	45 135	52,7	11,7	—	—	—	—	Ziegelrohbau. Ruberoidpappdach.
					D. Leuchtfeuer. (Fehlen.)													
					E. Elektrizitätsbauten. (Fehlen.)													

Buchdruckerei des Waisenhauses in Halle a. d. S

